



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia
Departamento de Informática

Investigação, Desenho e Implementação de Soluções de Redes Sem Fios para a Indústria Hoteleira

Leonel Mateus António

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática
(2º ciclo de estudos)

(Versão definitiva após-defesa pública)

Orientador: Prof. Doutor Lúcio Miguel Studer Ferreira

Co-Orientador: Prof. Doutor Nuno M. Garcia

Co-Orientadora: Prof. Doutora An Braeken

Covilhã, Novembro de 2018

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, responsável por iluminar minha trajetória de vida, pessoal, profissional e acadêmica, transmitindo-me força e coragem para seguir em frente, agradeço pelas vitórias que obtive, por renovar minhas forças e me dar proteção em cada etapa, pois graças à fé e a certeza de sua ajuda e direção pude chegar ao fim deste estudo.

A minha mãe, Lembá Mateus Luís e a minha avó, Domingas Mateus, por seu amor e apoio incondicional, vocês são fontes de forças.

Aos meus irmãos pelo apoio e por sempre acreditarem no meu potencial. Em especial o meu irmão Cláudio Luís António, por sua parceria ao longo de toda minha vida. Por me incentivar e ajudar atodo o instante.

A minha filha, Joleine António, que mesmo com sete anos tornou-se fonte de inspiração inesgotável.

As minhas tias (os), primas (os), por seu amor, cuidado e incentivo que me são dados todos os dias

Ao meu orientador, Prof. Doutor Lúcio Miguel Studer Ferreira, por ter me acolhido como orientando, por ter acreditado no meu potencial, por ter sido paciente e benevolente. Muito obrigado, professor, pela oportunidade de trabalhar com o senhor, e pela disponibilidade, ensinamentos e conselhos recebidos ao longo da elaboração desta dissertação de maneira a que o objetivo em vista fosse possível. O senhor é um exemplo a ser seguido.

Agradeço ao querido professor, Prof. Doutor Nuno Garcia meu coorientador, por toda a sua dedicação e paciência, pois sua ajuda, orientação e parceria foram muito valiosas e primordiais ao longo do

desenvolvimento desta dissertação. Palavras não conseguem expressar minha gratidão.

Aos decanos do Instituto Superior Politécnico da Universidade Katyavala Bwila, e ao Diretor do Instituto Médio Politécnico da Graça Jorge Maneco, pela oportunidade que me deram de sair do país e realizar este mestrado.

A empresa Pegasi, pela oportunidade dada para realização de um estágio de cinco meses e se disponibilizou constantemente, para todos contactos realizados por mim, no sentido de se contornar as várias dificuldades que foram surgindo, especialmente ao CEO Jorge Marques e o técnico Nuno Pereira.

Aos meus amigos (as), Leorivild Bravo, Bernardo Sampaio, Simão Cambala, Maura Lima, Aldemiro Cussivila, Etelvina Katombo, Joana de Jesus Mendonça, Cleise Jala, Luisa Sath, Sofia Mendes, Filomena Mendes, Helena Sangau, Luís Alberto, Meytondelua Zhenzo, Maria Adriano, Ney Alves, Elizandra Alves e Alves. Por me incentivarem e ajudarem a não desistir.

Por fim, agradeço também aos colegas do primeiro ano de Mestrado, pelo acolhimento e espírito de ajuda mútua neste meu regresso ao ambiente académico.

Resumo

Este trabalho aborda a investigação, desenho e implementação de soluções de redes sem fios para a indústria hoteleira. Propõe-se um modelo com várias etapas para fazer o levantamento, desenho, implementação, teste e otimização assim como a monitorização e gestão. São propostas várias métricas para análise da cobertura, do débito, do consumo energético, do impacto ambiental e do custo para avaliar a escolha do planeamento mais adequado. A metodologia proposta permite avaliar e melhorar a rede existente. Como aplicação da abordagem proposta, é avaliada uma solução para o hotel Tagus Palace em Lisboa. Com base num levantamento detalhado e uma campanha de medidas da solução atualmente existente, são desenhados e avaliados vários planeamentos alternativos. É proposto um planeamento com 3 APs por andar que traz uma melhoria à rede existente, com uma percentagem de cobertura de 98% com um débito médio de 30 Mb/s, com um custo de 9.033,50€, com um impacto ambiental de 62,82 kg de CO₂/mês e um consumo energético de 117,00 kWh/mês, ao passo que o planeamento existente com 2 APs, apresenta uma percentagem de cobertura de 80% com um débito médio de 29 Mb/s, com um custo de 8.221,00€, com um impacto ambiental de 45,43 kg de CO₂/mês e um consumo energético de 84,60 kWh/mês.

Portanto podemos dizer que o planeamento proposto perde por um lado por incrementar as seguintes métricas: o custo em 9%, o impacto ambiental em 38% e o consumo energético em 38% respectivamente, mas por outro lado ganha em termos de percentagem de área com nível acima dos -60 dBm em 98% com relação aos 80% do P_{C2} e um ganho em débito de 30 Mb/s com relação aos 29 Mb/s do P_{C2}.

Palavras-chave

Planeamento, cobertura, Wi-Fi, métrica, levantamento, desenho, implementação, teste, monitorização, gestão, desenvolvimento, análise, projeto, hotel.

Conteúdo

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Palavras-chave	vii
Conteúdo.....	viii
Lista de Figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Acrónimos.....	xix
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Motivação.....	2
1.3 Objectivos.....	2
1.4 Organização do Documento.....	2
2 Estado da Arte	4
2.1 Arquitetura TCP/IP.....	4
2.2 Nível de Interface com a Rede	5
2.2.1 Arquitetura IEEE 802.11	5
2.2.2 Nível Físico	8
2.2.3 IEEE 802.11a	10

2.2.4 IEEE 802.11b	11
2.2.5 IEEE 802.11g	12
2.2.6 IEEE 802.11n	12
2.2.7 IEEE 802.11ac	12
2.2.8 Características dos protocolos de nível físico.....	13
2.2.9 Controlo de Acesso ao Meio.....	18
2.2.10 Terminal Oculto	22
2.2.11 Terminal Exposto.....	24
2.2.12 Canais	25
2.2.13 Interferência	26
2.3 Nível de Rede	29
2.4 Nível de Transporte	29
2.5 Nível de Aplicação	31
2.5.1 Domain Name System.....	32
2.5.2 Dynamic Host Configuration Protocol	32
2.6 Ferramentas.....	33
2.6.1 Site Survey	33
2.6.2 Monitorização de conectividade.....	34
3 Etapas para o Desenho e Implementação de uma Solução.....	37
3.1 Modelo	37

3.2	Metodologia	38
3.2.1	Levantamento.....	38
3.2.2	Desenho.....	39
3.2.3	Implementação	39
3.2.4	Teste e Otimização	40
3.2.5	Monitorização e Gestão da Rede	41
3.3	Métricas de Desempenho.....	42
4	Caso de Estudo.....	45
4.1	Levantamento	45
4.1.1	Descrição do Cenário	45
4.1.2	Campanha de Medidas	48
4.2	Desenho.....	52
4.2.1	Planeamentos para Avaliação	52
4.2.2	Análise da Cobertura	54
4.2.3	Análise do Débito.....	57
4.2.4	Análise de Consumo Energético	59
4.2.5	Análise de Impacto Ambiental.....	61
4.2.6	Análise de Custo.....	62
4.2.7	Análise Comparativa das várias Métricas	64
4.3	Implementação	66

4.4	Teste e Otimização	67
4.5	Monitorização e Gestão	67
5	Conclusão.....	68
5.1	Conclusões Principais	68
5.2	Trabalho Futuro	70
	Referências	71
	Anexo A - Levantamento.....	75
	Anexo B - Desenho.....	79
	Anexo C - Custos	91

Lista de Figuras

Figura 2.1 Arquitetura do TCP/IP	4
Figura 2.2: Representação do (a) Modo ad - hoc e (b) Modo infraestrutura.	7
Figura 2.3: Conjunto de Serviços Estendido (ESS).	8
Figura 2.4 Ilustração do mecanismo de acesso ao meio CSMA/CA.	19
Figura 2.5 Terminal Oculto.	23
Figura 2.6 Uso de RTS-CTS para resolver o problema do terminal Oculto.	23
Figura 2.7 Terminal Exposto Uso de RTS-CTS.	25
Figura 2.8 Canais de operação de uma WLAN. Adaptada se Li et Al. (2012).	25
Figura 2.9 Funcionamento do CSMA/CA.	28
Figura 2.10 Arquitetura da solução Wi-Fi existente.	30
Figura 2.11 Xirrus Wi-Fi Designer.	34
Figura 2.12 Speedtest.	35
Figura 3.1 Passos para desenho de uma solução sem fios para um hotel.	37
Figura 4.1 Planta evidenciado a área que se pretende cobrir.	45
Figura 4.2 Arquitetura da Solução Wi-Fi existente.	47
Figura 4.3 Mapa de calor do nível de sinal recebido (em dBm), considerando os APs atualmente existentes.	49
Figura 4.4 Nível de sinal recebido (em dBm), considerando os APs atualmente existentes.	49
Figura 4.5 Planta identificando com cruces os pontos de medida.	51
Figura 4.6 Mapa de calor do nível de sinal recebido, em dBm, para o Cenário P _{C3} .	55
Figura 4.7 Histograma do nível de sinal recebido (em número de ocorrências) no Cenário P _{C3} .	55

Figura 4.8 Histograma do nível de sinal recebido no Cenário P _{C3} .	56
Figura 4.9 Histograma do nível do sinal recebido para os planeamentos com os APs no Corredor e nos Quartos.	56
Figura 4.10 Débitos medidos em Downlink no Cenário P _{C3} usando o SpeedTest.	58
Figura 4.11 Histograma do débito para os vários planeamentos. (Legenda das cores: azul: 14 Mbps, verde: 23 Mbps, amarelo: 27 Mbps, laranja: 32 Mbps, vermelho: 36 Mbps).	58
Figura 4.12 Consumo energético do hotel para os vários planeamentos.	60
Figura 4.13 Impacto ambiental dos vários planeamentos.	62
Figura 4.14 CAPEX dos vários planeamentos.	63
Figura A.1 Andar 1 do Hotel Tagus Palace.	75
Figura A.2 Andar 2 do Hotel Tagus Palace.	75
Figura A.3 Andar 3 do Hotel Tagus Palace.	76
Figura A.4 Andar 4 do Hotel Tagus Palace.	76
Figura A.5 Andar 5 do Hotel Tagus Palace.	77
Figura B.1 Cenário P _{C1} , com um AP no corredor.	79
Figura B.2 Cobertura no Cenário P _{C1} .	79
Figura B.3 Cenário P _{C2} , com dois APs no corredor.	80
Figura B.4 Cobertura no Cenário P _{C2} .	80
Figura B.5 Cenário P _{C3} , com três APs no corredor.	81
Figura B.6 Cobertura no Cenário P _{C3} .	81
Figura B.7 Cenário P _{C4} , com quatro APs no corredor.	82
Figura B.8 Cobertura no Cenário P _{C4} .	82
Figura B.9 Cenário P _{Q1} , com um AP no quarto.	83
Figura B.10 Cobertura no Cenário P _{Q1} .	83
Figura B.11 Cenário P _{Q2} , com dois APs no quarto.	84
Figura B.12 Cobertura no Cenário P _{Q2} .	84
Figura B.13 Cenário P _{Q3} , com três APs no quarto.	85

Figura B.14 Cobertura no Cenário P_{Q3}.	85
Figura B.15 Cenário P_{Q4}, com quatro APs no quarto.	86
Figura B.16 Cobertura no Cenário P_{Q4}.	86
Figura B.17 Débitos medidos no Cenário P_{C1} usando o SpeedTest.	87
Figura B.18 Débitos medidos no Cenário P_{C2} usando o SpeedTest.	87
Figura B.19 Débitos medidos no Cenário P_{C3} usando o SpeedTest.	87
Figura B.20 Débitos medidos no Cenário P_{C4} usando o SpeedTest.	88
Figura B.21 Débitos medidos no Cenário P_{Q1} usando o SpeedTest.	88
Figura B.22 Débitos medidos no Cenário P_{Q2} usando o SpeedTest.	88
Figura B.23 Débitos medidos no Cenário P_{Q3} usando o SpeedTest.	89
Figura B.24 Débitos medidos no Cenário P_{Q4} usando o SpeedTest.	89

Lista de tabelas

Tabela 2.1 Características das várias versões do IEEE 802.11 [4].	13
Tabela 2.2 Débitos associados aos vários tipos de modulação [4].	15
Tabela 2.3 Débitos para 802.11n com vários streams, , para vários índices MCS [8].	16
Tabela 2.4 Monitorização de conectividade.	34
Tabela 2.5 Monitorização e gestão.	35
Tabela 4.1 Identificação dos diferentes tipos de divisão por andar do Hotel Tagus Palace.	46
Tabela 4.2 Materiais constituintes do edifício.	47
Tabela 4.3 Estimativa de número de pessoas e dispositivos	47
Tabela 4.4 Características dos pontos medidos	51
Tabela 4.5 Correspondência entre nível de sinal recebido e débito médio medido em DL e UL.	52
Tabela 4.6 Distribuição dos APs em cada Planeamento.	53
Tabela 4.7 Percentagem da área com nível acima de -60 dBm.	57
Tabela 4.8 Consumo energético por equipamento.	59
Tabela 4.9 Análise, para o hotel inteiro, do consumo de cada um dos planeamentos em análise.	60
Tabela 4.10 Análise de impacto ambiental de cada um dos planeamentos.	61
Tabela 4.11 Custo CAPEX do hotel (do total dos andares) para os planeamentos P_{C3} e P_{Q3} .	63
Tabela 4.12 Análise dos custos dos planeamentos em análise.	64
Tabela 4.13 Análise comparativa dos vários planeamentos de acordo com várias métricas.	64
Tabela 4.14 Equipamentos utilizados	67
Tabela C.1 Custo dos planeamentos P_{C1} e P_{Q1}	91
Tabela C.2 Custo dos planeamentos P_{C2} e P_{Q2}	92

Tabela C.3 Custo dos planeamentos P_{C3} e P_{Q3}	93
Tabela C.4 Custo dos planeamentos P_{C4} e P_{Q4}	94

Acrónimos

AP	Access Point
BSA	Basic Service Area
BSS	Basic Service Set
BYOD	Bring your own device
CB	Channel Bonding
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTS	Clear To Send
DCF	Distributed Coordination Function
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL	Download
DNS	Domain Name System
DS	Distribution System
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
ESA	Extend Service Area
ESS	Extended Service Set
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum
HR	High-Rate
IBSS	Independent BSS
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IoT	Internet of things
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PCF	Point Coordination Function

PoE	Power over Ethernet
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RTS	Request To Send
SLA	service-level agreement
STA	Station
UL	Upload
WaaS	Wireless as a Service
WLAN	wireless local area network

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A comunicação sem fios é, das formas mais confortáveis para aceder a Internet. Ela traz consigo muitas vantagens, uma delas é, sem dúvidas, o aumento da produtividade, o que deveria melhorar o nível de vida do trabalhador. Mas segundo muitos significa, principalmente, maior lucro para a empresa. Entre outras vantagens, destacam-se: a flexibilidade, facilidade de instalação, redução de custo agregado e diversas topologias,

A comunicação sem fios é uma das tecnologias que mais tem crescido nos últimos anos [1]: A demanda pela conexão de dispositivos sem a utilização de cabos aumentou vertiginosamente em todo o mundo. Atualmente, as Local Area Networks (LANs) sem fios são encontradas em campos universitários, escritórios de empresas, hotéis e em áreas públicas: nas LANs residências, uma rede sem fios Wireless LAN (WLAN) pode combinar a mobilidade do utilizador, conectividade e velocidade de acesso à Internet.

Wireless Local Area Network (WLAN), que em Português significa "Rede Local Sem Fios". É uma rede local que usa ondas de rádio para transmissão de dados e para conexão à Internet, sem necessidade de usar os tradicionais cabos para conectar dispositivos.

Este projeto foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), que se encontra inserido no 2º ano do mestrado em Engenharia Informática da Universidade da Beira Interior, sendo este orientado pelo Professor Lúcio Miguel Studer Ferreira e coorientado pelos Professores Nuno M. Garcia e a Professora An Braeken.

1.2 Motivação

A tecnologia de rede Wi-Fi é um complemento a ligação por cabo permitindo aos seus utilizadores executar as mesmas tarefas e mais, proporcionando flexibilidade e mobilidade, não apenas dentro das empresas, mas também fora dela. Neste contexto, as redes sem fio WLAN têm mostrado vantagens sob as redes ethernet. Considerando estes factos, os hotéis não fogem esta realidade, uma vez que no Hotel Tagus Palace também usam esta tecnologia.

1.3 Objectivos

O principal objectivo deste trabalho de mestrado é o estudo, desenho e implementação de uma solução de redes sem fios para a indústria hoteleira. Este trabalho decorrerá em colaboração com a empresa PEGASI com quem a UBI tem um acordo de cooperação, em contexto real, usando ferramentas reais, na empresa Pegasi, e recorrendo a um hotel. Para realizar esta dissertação e atingir os objectivos propostos, o projeto foi inicialmente planificado da seguinte forma:

- **Tarefa 1** Estudo da plataforma de comunicação;
- **Tarefa 2** Revisão do estado da arte;
- **Tarefa 3** Análise de requisitos;
- **Tarefa 4** Desenho e implementação de uma solução real;
- **Tarefa 5** Implementação, teste e avaliação da solução;
- **Tarefa 6** Escrita da dissertação.

1.4 Organização do Documento

De modo a refletir o trabalho realizado, este documento possui a seguinte estrutura:

Capítulo 1 - Introdução

1. O primeiro capítulo - **Introdução** - onde é apresentado o projeto, a motivação para a sua escolha, o seu enquadramento, os objectivos pretendidos e respectiva organização;
2. O segundo capítulo - **Estado da Arte** - que descreve as redes Wi-Fi com fatores comparativos à aplicação associada a este projeto, devidamente justificadas e clarificadas;
3. O terceiro capítulo - **Etapas para o Desenho e Implementação de uma solução** - apresentando as etapas preponderantes, tecnologias bem como as metodologias aplicadas no âmbito do desenvolvimento da aplicação descrita;
4. O quarto capítulo - **Caso de Estudo**-onde se descreveo cenário, fez-se o levantamento de medidas e as etapas para o desenho e implementação da solução.
5. O quinto capítulo - **Conclusões** - tal como a designação indica, são apresentadas as devidas conclusões.
6. O anexo. A - **Levantamento** - apresenta detalhes do levantamento feito.
7. O anexo B - **Desenho** - apresenta a avaliação de todos os cenários propostos.
8. O anexo C - **Custos** - apresenta os custos associados aos planeamentos propostos.

2 Estado da Arte

2.1 Arquitetura TCP/IP

O TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) [2] é um conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede. A arquitetura do TCP/IP é apresentada na Figura 2.1, constituída por quatro níveis:

- **Nível de Aplicação**- Este nível faz comunicação entre os aplicativos e os protocolos de transporte. (FTP, SMTP, TELNET, HTTP, HTTPS, DNS, DHCP, POP, IMAP)
- **Nível de Transporte**- Este nível é responsável por captar os dados enviados pelo nível de aplicação e transformá-los em pacotes, a serem repassados para o nível de rede. (TCP e UDP)
- **Nível de Rede**- Este nível é responsável pelo roteamento de pacotes, isto é, adiciona ao datagrama informações sobre o caminho que ele deverá percorrer (ARP, IGMP, ICMP, IP)
- **Nível de Interface com a Rede**- Este nível é responsável por enviar o datagrama recebido pelo nível de Rede em forma de um quadro através da rede (Ethernet, Token Ring, Frame Relay)

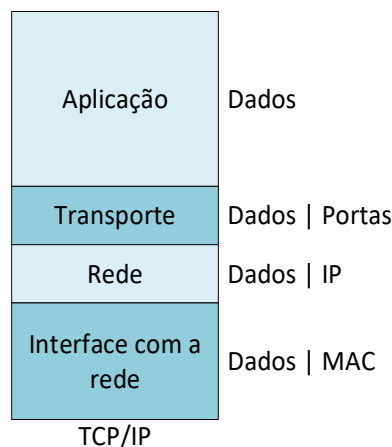


Figura 2.1 Arquitetura do TCP/IP

Nas secções que se seguem apresenta-se o estado da arte relativamente a cada um dos níveis, identificando-se os principais desafios associados ao desenho de uma rede sem fios.

2.2 Nível de Interface com a Rede

Este nível é responsável por entregar as unidades de dados (grupos de bits) de uma estação até a outra sem erros. Este nível aceita dados do nível de rede e adiciona os cabeçalhos necessários para que o frame possa ser enviado para o próximo dispositivo do trajeto entre emissor e recetor[3]. Estabelecer a conexão entre dois dispositivos físicos compartilhando o mesmo meio físico. Detetar e corrigir erros que por ventura venham a ocorrer no meio físico.

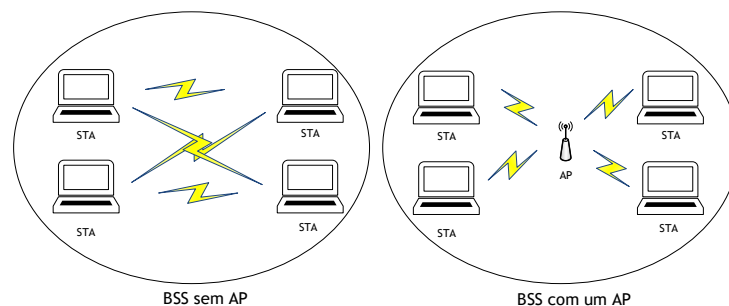
2.2.1 Arquitetura IEEE 802.11

A arquitetura IEEE 802.11 consiste em vários componentes que interagem para fornecer uma WLAN que suporte a mobilidade das (STA) de forma transparente para os níveis superiores[4]. Os elementos da arquitetura 802.11 são os seguintes:

- **Estações de Trabalho (Wireless LAN Station-STA)** - Estão representando as estações (clientes) da rede;
- **Ponto de acesso (Access Point - AP)** - são STA responsáveis pela captura das transmissões realizadas pelas STA posicionadas dentro da sua área de cobertura, chamada *Basic Service Area (BSA)*. A função de um AP é ampliar o acesso a redes com fio para clientes wireless.
- **Área de Serviço Básica (Basic Service Area - BSA)**- é a área física da cobertura RF fornecida por um AP, onde estão os membros do BSS, usualmente designada de célula. O tamanho da BSA depende das características do ambiente e da potência dos transmissores e recetores usados nas STA.

- **Basic Service Set (BSS)**- designa um AP e o conjunto de STAs dentro do seu BSA.
- **BSS independente (IBSS)** - designa um conjunto de STAs que comunicam diretamente entre elas, sem o recurso a um AP, usando o modo de operação ad-hoc. Essa rede segue um modelo peer-to-peer[5].
- **Sistema de distribuição (Distribution System - DS)** - infraestrutura de comunicação (backbone) que interliga múltiplas BSAs para permitir a construção de redes cobrindo áreas maiores que uma célula. O AP de cada BSA está interligado ao DS.
- **Extended Service Set (ESS)** designa um conjunto de BSS interligados pelo DS.
- **Área de serviço estendida (Extend Service Area - ESA)** - representa a interligação de vários BSAs pelo sistema de distribuição através dos APs.
- **Gateway (GW)** - nó que interliga o ESS à Internet.

Os dois modos de operação especificados no standard IEEE 802.11 são o modo de infraestrutura e modo ad-hoc[1]. Cada um faz uso do BSS, mas produzem diferentes topologias de rede. O modo de operação é selecionado durante a configuração da estação sem fio, todas as estações sem fio devem selecionar um modo operacional antes de tentar criar ou se juntar a uma rede Wi-Fi.



a) Modo ad-hoc.

b) Modo infraestrutura.

Figura 2.2: Representação do (a) Modo ad - hoc e (b) Modo infraestrutura.

O serviço BSS sem um AP é uma rede isolada e não pode transmitir dados para outros BSSs. É o que chamamos de *arquitetura ad-hoc*. Nesta arquitetura, as estações fazem parte de uma rede sem a necessidade de um AP. Elas simplesmente localizam-se reciprocamente e concordam em fazer parte de um BSS.

Quando os BSSs estão conectados entre si temos o que é denominada *configuração de infraestrutura*. Nessa rede, as estações dentro do raio de alcance podem se comunicar sem o suporte do AP. Entretanto, as comunicações entre duas estações em diferentes BSSs usualmente acontecem via dois APs. Perceba ainda que uma estação móvel pode pertencer a mais de um BSS ao mesmo tempo, basta que ela se localize na região de interseção dos BSS.

Na Figura 2.3 representa-se um ESS. Os BSSs são conectados através do DS, geralmente uma LAN cabeada. As STAs que querem ter conectividade com a rede, associam-se a um AP, ficando a fazer parte do BSS que lhes dá conectividade ao resto da rede através do DS.

Capítulo 2 - Estado da Arte

transmissor e o recetor devem concordar sobre a sequência de divisão da banda para a manutenção de um único canal lógico. Quanto a *Banda* FHSS usa uma faixa de 2,4GHz, denominadaISM. Ela opera na faixa de 2,4 a 2,48 GHz (dependendo da regulamentação de cada país). Toda a banda é dividida em 79 canais de 1MHz cada. Uma função geradora de números pseudoaleatórios seleciona o salto para a faixa habilitada. A técnica de modulação utilizada nesta especificação é Frequency Shift Keying(FSK¹) operando numa faixa de modulação de 1 Mbaud/s. O Sistema lida com 1 ou 2-bits/ baud (2-FSK ou 4-FSK), o qual resulta numa taxa de transferência de dados de 1 ou 2 Mb/s.

IEEE 802.11 DSSS

O standard IEEE 802.11 DSSS também descreve o método de espalhamento spectral, cujo acrônimo DSSS significa Direct-Sequence Spread Spectrum, para a geração do sinal na faixa de frequências ISM próximo a 2,4 GHz.

No DSSS cada *bit* enviado pelo transmissor é categoricamente substituído por uma sequência de bits denominada *Chip code* ou *bit-code*. Porém, para evitar *buffering* (uso de área de armazenamento temporário) o tempo necessário para transmitir um *chip-code* deve ser o mesmo tempo necessário para transmitir um *bit* original. Se o número de bits em cada *chip-code* for N, então a taxa de transmissão dos *chip-codes* será N vezes a taxa de transmissão da cadeia original de bits. *Quanto a Banda* o DSSS usa uma faixa ISM de 2,4GHz. sequência de *bits* usa toda a banda. A técnica de modulação utilizada nesta especificação é Phase Shift Keying (PSK)

¹N. de R.T. A rigor, a versão de 1 Mbps utiliza níveis da modulação GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) e a de 2 Mbps utiliza 4 níveis da mesma modulação.

operando numa taxa de modulação de 1 Mbaud/s. O sistema lida com 1 ou 2bits/ baud Differential Binary Phase-Shift Keying (DBP-SK) ou Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK), o qual resulta numa taxa de transferência de dados de 1 ou 2Mb/s.

2.2.3 IEEE 802.11a

O standard IEEE 802.11a OFDM descreve um método de multiplexação, cujo acrônimo OFDM significa Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, para geração do sinal na faixa de frequências ISM próxima a 5GHz. O OFDM é parecido com o Frequency Division Multiplexing (FDM - Multiplexação por divisão de frequência), com a diferença fundamental de que todas as faixas são utilizadas por uma estação de origem num dado instante de tempo. As estações de origem disputam entre si para acessar o nível de enlace. O standard 802.11a lançado em 1999, tem uma Taxa de dados com diversos tipos de modulação: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mb/s, com uma Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) com canais de subcarrier 52. Existem 12 canais não sobrepostos infraestrutura nacional de informações não licenciado (UNII) canais na faixa de frequência de 5GHz, a taxa máxima é de 54Mb/s, com a largura de banda de 20. O 5GHz têm 4 bandas UNII.

- A banda UNII-1 (inferior) varia de 5,15-5,25GHz e possui 4 canais. Todos os canais não se sobrepõem. (Alcance: 100MHz)
- A banda UNII-2 (Middle) varia entre 5,25-5,35GHz e possui 4 canais. Todos os canais não se sobrepõem. (Alcance: 100MHz)
- A faixa de Extensão (Extended) de UNII-2 varia de 5,470-5,725GHz e tem 11 canais. Todos os canais não se sobrepõem. (Alcance: 255MHz)
- A faixa UNII-3 (superior) varia entre 5,725-5,825 GHz e tem 4 canais. Todos os canais não se sobrepõem. (Alcance: 100MHz)

Capítulo 2 - Estado da Arte

O total de 23 canais está presente na faixa de 5GHz e todos os canais não são sobrepostos e obtemos um alcance de 550MHz para transmitir dados. A largura de cada canal é de 20MHz.

Quanto a *Banda*, a especificação usa uma faixa de frequências ISM próxima a 5GHz. Toda a banda é dividida em 52 faixas, onde 48 delas estão destinadas a enviar 48 grupos de *bits*, num certo intervalo de tempo, e as outras 4 são utilizadas para controlo da informação. A divisão da banda em faixas diminui os efeitos da interferência. Além disso, caso as faixas sejam escolhidas aleatoriamente, é possível implementar um nível de segurança maior. O OFDM usa PSK e Quadrature Amplitude Modulation (QAM) para modulação. A transmissão de dados típica ocorre a 18Mb/s (PSK) e 54Mb/s (QAM)

2.2.4 IEEE 802.11b

O standard IEEE 802.11b HR_DSSS descreve um método de espalhamento spectral, cujo acrônimo HR significa High-Rate, para geração do sinal na faixa de frequências ISM próximo a 2,4GHz. O HR-DSSS exhibe muitas semelhanças com DSSS. A diferença reside no método utilizado para a codificação, o qual é denominado Complementary Code Keying (CCK). O CCK codifica 4 ou 8 *bits* num único símbolo CCK. O standard 802.11b lançado em 1999, tem uma taxa de dados com diversos tipos de modulação: 1, 2, 5.5 e 11Mb/s, com altas taxas de direct sequence spread spectrum (HR-DSSS), com três canais não-sobrepostos na faixa de frequência ISM a 2,4GHz. Quanto a *Banda* a especificação utiliza uma faixa de frequência ISM próxima a 2,4GHz. As duas primeiras usam a mesma técnica de modulação encontrada no DSSS. A versão de 5,5Mb/s usa DBPSK, modula numa taxa de 1,375 Mbaud/s e codifica com 4-bits por símbolo CCK. Perceba que a versão 11Mb/s possui uma taxa de transmissão próxima das redes Ethernet padrão de 10Mb/s.

2.2.5 IEEE 802.11g

Esta especificação utiliza OFDM numa faixa de frequência ISM de 2,4Ghz. Através de uma técnica de modulação complexa, ela atinge a taxa de 54Mb/s. O standard 802.11g lançada em 2003, tem uma taxa de dados com diversos tipos de modulação: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54Mb/s; pode reverter para 1, 2, 5.5 e 11Mb/s usando DSSS e CCK, com a Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) com canais subcarrier 52; compatível com versões anteriores com 802.11b usando DSSS e CCK, com três canais não-sobrepostos na faixa de frequência ISM a 2,4GHz. O standard 802.11g tem 14 canais com 3 canais não sobrepostos, taxa máxima de 54Mb/s, com a largura de banda de 20MHz.

2.2.6 IEEE 802.11n

Esta especificação utiliza MIMO-OFDM que significa Multiple-Input Multiple-Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing, operando na banda de 2,4Ghz e/ou 5Ghz com velocidade de 65 Mbits/s até 600 Mbits/s[6], o que é conseguido pelo uso de modulação 4x 4 MIMO 64-QAM e uma largura de banda de 40MHz.

2.2.7 IEEE 802.11ac

O standard 802.11ac é um desenvolvimento adicional do standard 802.11n. Técnicas MIMO até 8 x 8 são possíveis com este standard e a modulação foi estendida para 256-QAM. A largura de banda máxima é de 160MHz. Este standard também pode funcionar tanto na banda de 2,4GHz quanto na faixa de 5GHz. Taxas de bits brutas de até 6933 Mbit/s são teoricamente possíveis. Isto é conseguido pelo uso de 8 x 8 MIMO, modulação 256-QAM e em uma largura de banda de 160MHz[7].

2.2.8 Características dos protocolos de nível físico

A Tabela 2.1, faz a comparação das características dos vários protocolos das redes IEEE 802.11, versões a, b, g, n e ac[4]. Na

Tabela 2.2 Débitos associados aos vários tipos de modulação [4].

Capítulo 2 - Estado da Arte

Tabela 2.2 apresentam-se os débitos associados aos vários tipos de modulação e na Tabela 2.3 os débitos e níveis de sensibilidade para 802.11n.

Tabela 2.1 Características das várias versões do IEEE 802.11 [4].

	Protocolos IEEE 802.11				
	a	b	g	n	ac
Protocolo(s) compatíveis	a	g	b	a, b e g	a, b, g e n
Frequência de Operação [GHz]	5	2,4		2,4 ou 5	5
Largura de Banda [MHz]	20	20		20 ou 40	20, 40, 80 ou 160
Canais	12	3		Os mesmos canais que 802.11b/g e 802.11a	Os mesmos canais que 802.11a
Técnica de Modulação	OFDM	CCK ou DSSS		CCK, DSSS ou OFDM	OFDM MIMO
Débito máximo de transmissão [Mb/s]	54	11		54 (64QAM)	600
Taxa de Transferência Típica para Taxa Máxima de Dados [Mb/s]	[18, 22]	6		[18, 22]	74
Potência máxima [W]	5,15-5,25: 40mW 5,25-5,35: 200mW 5,725-5,825:800mW	1W (USA), 0,1W (Europa), 0,01W (Japão)		Deve atender aos requisitos do órgão regulador local. Por exemplo, IEEE 802.11b	Deve atender aos requisitos do órgão regulador local. Por exemplo, IEEE 802.11b

Tabela 2.2 Débitos associados aos vários tipos de modulação [4].

Tipo de modulação	Taxa de codificação	Taxa de dados [Mbit/s]
BPSK	1/2	6
BPSK	3/4	9
QPSK	1/2	12
QPSK	3/4	18
16-QAM	1/2	24
16-QAM	3/4	36
64-QAM	2/3	48
64-QAM	3/4	54

Tabela 2.3 Débitos para 802.11n com vários streams, , para vários índices MCS [8].

MCS Rate Index	Data Streams	Modulation/ECC	Data Rate (Mbps)				Receive Sensitivity [dBm]	
			800NS GI		400NS GI			
			20 MHZ	40 MHZ	20 MHZ	40 MHZ	20 MHZ	40 MHZ
0	1	BPSK/1:2	6.5	13.5	7.2	15.0	-82	-79
1	1	QPSK/1:2	13.0	27.0	14.4	30.0	-79	-76
2	1	QPSK/3:4	19.5	40.5	21.7	45.0	-77	-74
3	1	16-QAM/1:2	26.0	54.0	28.9	60.0	-74	-71
4	1	16-QAM/3:4	39.0	81.0	43.3	90.0	-70	-67
5	1	64-QAM/2:3	52.0	108.0	57.8	120.0	-66	-63
6	1	64-QAM/3:4	58.5	121.5	65.0	135.0	-65	-62
7	1	64-QAM/5:6	65.0	135.0	72.2	150.0	-64	-61
8	2	BPSK/1:2	13.0	27.0	14.4	30.0	-82	-79
9	2	QPSK/1:2	26.0	54.0	28.9	60.0	-79	-76

Tabela 2.3 Débitos para 802.11n com vários streams, , para vários índices MCS [8].

MCS Rate Index	Data Streams	Modulation/ECC	Data Rate (Mbps)				Receive Sensitivity [dBm]	
			800NS GI		400NS GI			
			20 MHZ	40 MHZ	20 MHZ	40 MHZ	20 MHZ	40 MHZ
10	2	QPSK/3:4	39.0	81.0	43.3	90.0	-77	-74
11	2	16-QAM/1:2	52.0	108.0	57.8	120.0	-74	-71
12	2	16-QAM/3:4	78.0	162.0	86.7	180.0	-70	-67
13	2	64-QAM/2:3	104.0	216.0	115.6	240.0	-66	-63
14	2	64-QAM/3:4	117.0	243.0	130.0	270.0	-65	-62
15	2	64-QAM/5:6	130.0	270.0	144.4	300.0	-64	-61
16	3	BPSK/1:2	19.5	40.5	21.7	45.0	-82	-79
17	3	QPSK/1:2	39.0	81.0	43.3	90.0	-79	-76
18	3	QPSK/3:4	58.5	121.5	65.0	135.0	-77	-74
19	3	16-QAM/1:2	78.0	162.0	86.7	180.0	-74	-71

Tabela 2.3 Débitos para 802.11n com vários streams, , para vários índices MCS [8].

MCS Rate Index	Data Streams	Modulation/ECC	Data Rate (Mbps)				Receive Sensitivity [dBm]	
			800NS GI		400NS GI			
			20 MHZ	40 MHZ	20 MHZ	40 MHZ	20 MHZ	40 MHZ
20	3	16-QAM/3:4	117.0	243.0	130.7	270.0	-70	-67
21	3	64-QAM/2:3	156.0	324.0	173.3	360.0	-66	-63
22	3	64-QAM/3:4	175.5	364.5	195.0	405.0	-65	-62
23	3	64-QAM/5:6	195.0	405.0	216.7	450.0	-64	-61

Nota: Tanto o ponto de acesso quanto o cliente requerem dois ou três fluxos espaciais para aproveitar as taxas de dados mais altas oferecidas pelo MCS 8-15 ou MCS 16-23, respetivamente[8].

2.2.9 Controlo de Acesso ao Meio

Para o controlo de acesso ao meio (MAC) o standard IEEE 802.11[1] estabelece duas subcamadas MAC: Distributed Coordination Function (DCF) e o Point Coordination Function (PCF).

O método de acesso básico chamado de Distributed Coordination Function (DCF-Função de Coordenação Distribuída) é baseada no CSMA/CA - (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance-Acessos Múltiplos

Capítulo 2 - Estado da Arte

percebendo o sinal da Portadora Evitando as Colisões). O Segundo método de acesso é o Point Coordination Function (PCF-Função de Coordenação Local) que é usado para priorização de tráfego quando houver necessidade, como é o caso de tráfego de voz e vídeo.

Na Figura 2.4 está ilustrado o mecanismo de acesso ao meio CSMA/CA. No 802.11 se evita a colisão usando um esquema de confirmação positiva para a transmissão onde a estação que quer transmitir verifica o meio e se ele estiver ocupado deixa para transmitir depois, mas se ele estiver livre por um tempo determinado chamado de Distributed Inter Frame Space (DIFS-Espaço Entre Quadros Distribuídos) a estação pode transmitir, a estação receptora verifica a mensagem recebida calculando o Cyclic Redundancy Codes (CRC- Código de Redundância Cíclica) e responde com uma mensagem de confirmação Acknowledgment Packet (ACK-Pacote de confirmação) pelo recebimento do ACK a estação que transmitiu tem a garantia de que não houve colisão. Se ela não recebe o ACK ela retransmite a mensagem até receber o ACK ou até que seja esgotado o número máximo de retransmissões.

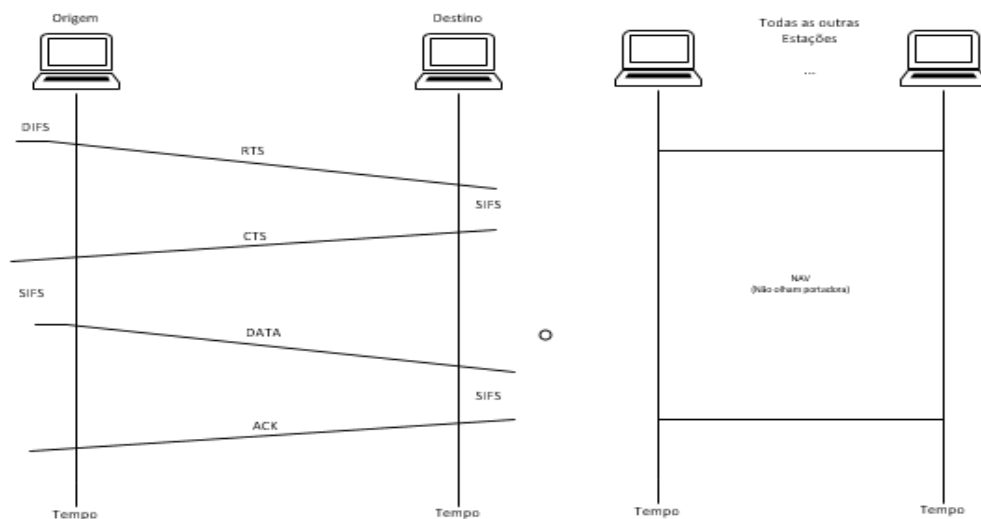


Figura 2.4 Ilustração do mecanismo de acesso ao meio CSMA/CA.

Para evitar a probabilidade de colisão pelo fato de duas estações não se escutarem, problema conhecido como Estação escondida ou não visível(hidden node), foi definida o mecanismo Virtual Carrier Sense (VCS- Perceção da Portadora Virtual) onde a estação que quer transmitir envia, quando o meio está livre, um pequeno pacote de controlo chamado Request To Send (RTS- Pedido Para Transmissão) que leva os endereços de origem e destino e o tempo estimado da transmissão a estação destino, se o meio estiver livre responde com um outro pacote de controlo chamado Clear To Send (CTS- Livre Para Transmissão) contendo as mesmas informações. Como todas as estações recebem o par RTS/CTR chamado de Network Allocation Vector (NAV-Vetor de Alocação de Rede), pois eles são enviados via AP que os retransmite, é formado o canal virtual VCS durante todo o período de transmissão e estas informações são usadas pelo nível físico para o cálculo do tempo de espera.

As redes sem fio trabalham com fragmentação e reconstrução de pacotes: nas redes sem fio, devido a transmissão ser via RF, é preferível o uso de pacotes menores para evitar erros, a corrupção e retransmissão, e para manter a compatibilidade com outros standard de rede foi definida no nível do 802.11 um esquema de fragmentação e reconstrução de pacotes chamado Envia e Espera (Send-and-Wait) onde a estação que transmite não pode enviar um segundo pacote enquanto não receber o ACK do fragmento enviado ou esgotar o número máximo de retransmissões.

Esta regra vale para o par origem-destino, isto é, se a estação tiver que enviar mensagens para destinos diferentes o esquema (Envia e Espera) vale para cada origem-destino, isto é, enquanto está esperando a confirmação de um fragmento de uma estação ela pode enviar um fragmento para outra estação destino. Para resolver possíveis problemas de contenção foi definido no standard 802.11, que deve ser usado o algoritmo Exponential Backoff (Espera Exponencial) o qual irá determinar o tempo que cada estação

Capítulo 2 - Estado da Arte

deverá esperar para tentar transmitir de novo, no caso dela ter encontrado o meio ocupado e ter um problema de colisão.

Quando uma STA quer se conectar a uma rede existente seja por meio de um AP ou de uma rede Ad Hoc, ela precisa trocar certas informações de sincronismo. Isso pode ser feito de duas maneiras:

- De forma passiva, isto é, esperando receber um pacote Beacon, que é um pacote que o AP envia, quando configurado para isso, periodicamente para anunciar os serviços e permitir o sincronismo.
- De forma ativa enviando pacotes de Probe Request- Pedido de Procura para o AP e esperando a resposta. Estas duas formas são válidas e a opção por uma ou pela outra depende do esquema de segurança escolhido e do consumo de energia desejado.

Após a STA ter estabelecido o contato com o AP desejado, ela precisa seguir os procedimentos de autenticação onde tanto a STA como o AP provam a suas identidades, credenciais e senhas. Em seguida ela deve efetuar os processos de associação onde troca, com o AP informações sobre os serviços disponíveis e a estrutura da rede DS/ESS e a sua posição dentro dela, somente após ter completado todos estes procedimentos, a estação pode começar a transmitir e receber pacotes de dados.

O sincronismo é vital para todos os sistemas de comunicação e sobretudo para os sistemas móveis, por esse motivo o standard 802.11 definiu um processo de sincronismo que é controlado pela estação base AP a qual periodicamente envia um pacote de controlo conhecido por Beacon frame onde a STA base AP coloca o valor de seu relógio, na altura da transmissão do Beacon todas as STAs dentro da BSS célula recebem este pacote e acertam seu relógio para manter o sincronismo com a STA base e por conseguinte com todos os participantes da BSS célula.

Em todos métodos de acesso, há diversos parâmetros para controlar o tempo de espera antes do acesso ao meio. Para transmitir um quadro, uma STA deve “sentir” o meio livre por um período de silêncio mínimo, Inter Frame Space (IFS) antes de utilizá-lo; utilizando valores diferentes para isso.

O standard define 4 tipos de Inter Frame Spaces, que são usados para fornecer diferentes prioridades:

- **Distributed Inter Frame Spacing (DIFS)** - espaço entre quadros da DCF, este parâmetro indica o maior tempo de espera para transmitir um quadro;
- **Short Inter Frame Space (SIFS)** - é usado para transmissão de quadros carregando respostas imediatas, como ACK, CTS que possuem mais alta prioridade;
- **Priority Inter Frame Space (PIFS)** - espaço entre quadros da PCF, um tempo de espera entre o DIFS e o SIFS. Usado para o serviço de acesso que necessita de um retardo de transferência limitado;
- **Extended IFS (EIFS)** - Tempo de espera por um ACK; Tempo este maior do que DIFS.

2.2.10 Terminal Oculto

Observando a Figura 2.5, a STA A e a STA C não podem “escutar” as transmissões uma da outra, visto que estão fora da área de cobertura. Se ambas tentarem ao mesmo tempo transmitir pacotes para a STA B que se encontra dentro de sua área de cobertura, haverá colisão e consequente perda de pacotes[9].

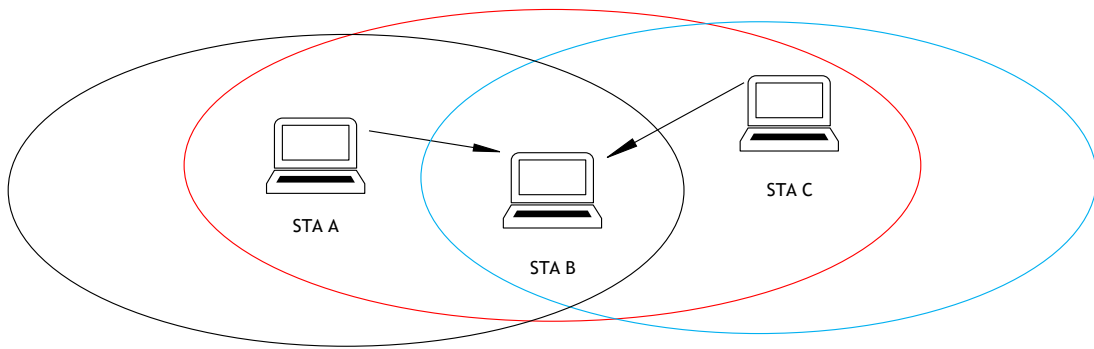


Figura 2.5 Terminal Oculto.

Com a utilização do mecanismo RTS e CTS, como mostra a Figura 2.6, esse problema é resolvido. A origem envia o quadro RTS e o destino do pacote responde com um quadro CTS e com isso as demais STAs suspendem suas transmissões por um período de tempo especificado por estes quadros (RTS/CTS). Esses quadros são considerados unidades atômicas de protocolo MAC. STAs que “escutam” RTS atrasam suas transmissões até “escutar” CTS[9].

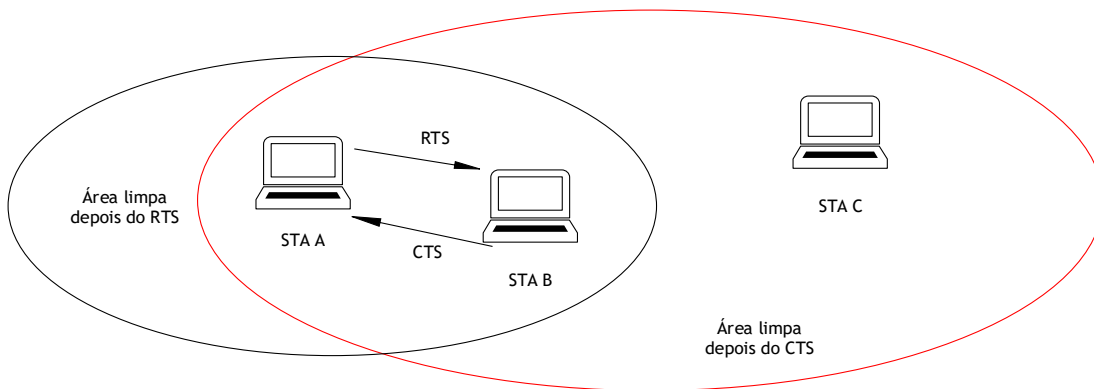


Figura 2.6 Uso de RTS-CTS para resolver o problema do terminal Oculto.

Na STA fonte (transmissora), qualquer tipo de falha pode causar a retransmissão do quadro. Isso é tratado como uma colisão e as regras para temporização de retransmissão são tratadas no DFWMAC -CSMA/CA[9].

Para evitar que uma STA monopolize o meio, há temporizadores para impedir que todas as STAs que possuam quadros para transmissão utilizem o meio ao mesmo tempo e causem colisão. Com os temporizadores, cada STA tem os tempos configurados de forma aleatória, evitando colisões[9].

O mecanismo RTS/CTS pode ser desabilitado nas seguintes situações[9]:

- Baixo uso de banda;
- Onde as STAs são concentradas em uma área onde todas as STAs são capazes de “ouvir” as outras STAs;
- Onde não há muita concentração para o canal.

2.2.11 Terminal Exposto

Considere a Figura 2.7 em que a STA C está transmitindo para a STA A. Neste caso a STA G está no raio de alcance de C e, portanto, consegue escutar a transmissão de C para A. Considere, agora, que a STA G deseje transmitir uma informação à STA E, que está fora do alcance de A e de C. Neste cenário, a STA G inibirá, desnecessariamente, a sua transmissão até que C encerre a transmissão para A, pois a transmissão da STA G para a E não causaria colisão em A[9].

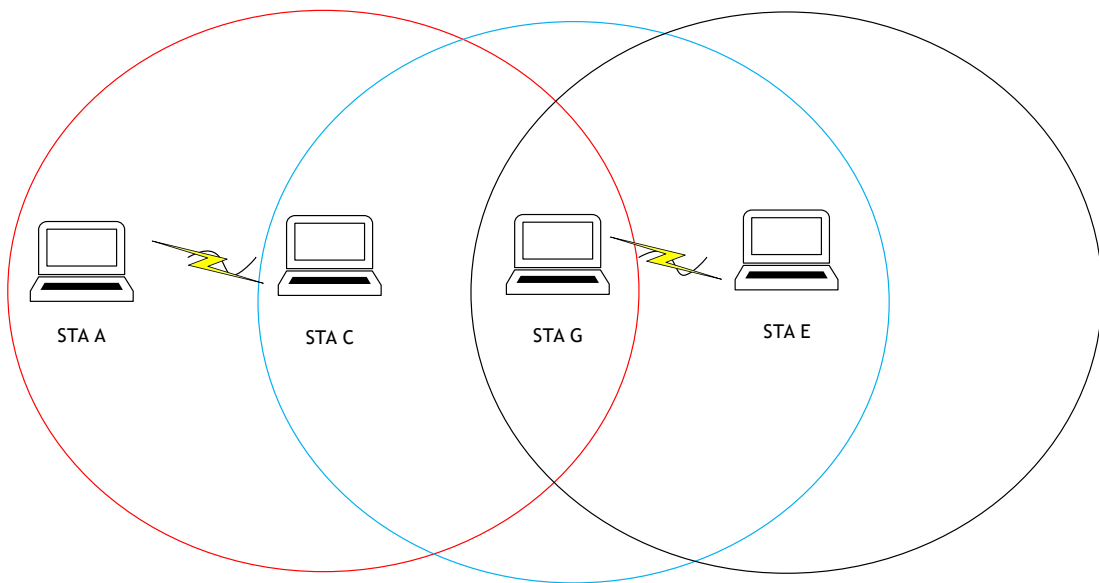


Figura 2.7 Terminal Exposto Uso de RTS-CTS.

2.2.12 Canais

A banda de radiofrequência em que as redes WLAN operam é dividida em canais. A banda de 2,4GHz é dividida em 11 canais, cada um com largura de banda de 22MHz. No entanto, apenas três canais não causam interferência entre si (1, 6 e 11) e são chamados de não sobrepostos devido à existência de um espaço de frequência de 3MHz entre eles. Em redes com grande concentração de utilizadores e APs, o projetista de rede é obrigado a reutilizar os canais sobrepostos gerando, inevitavelmente, interferência. A Figura 2.8 ilustra os canais disponíveis na banda ISM. Do mesmo modo, a figura destaca os canais chamados de não sobrepostos.

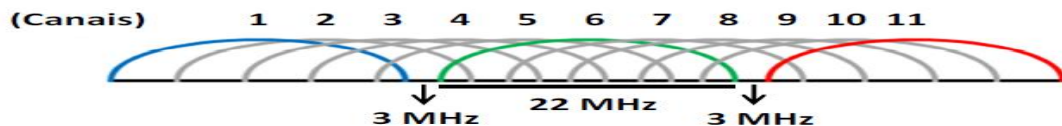


Figura 2.8 Canais de operação de uma WLAN. Adaptada se Li et Al. (2012).

2.2.13 Interferência

O uso do mesmo canal ou de canais parcialmente sobrepostos pode gerar problemas de interferência nas redes 802.11. Esta seção aborda o problema da interferência nessas redes, apresentando e discutindo os diferentes tipos e casos de interferência existentes [10].

A interferência nas redes 802.11 pode se manifestar de duas formas distintas: compartilhamento da capacidade do canal e interferência co-canal dependendo do nível de sinal interferente que atinge o receptor. A explicação para a existência de dois tipos diferentes de interferência reside no método de acesso ao meio empregado nestas redes. As redes 802.11 utilizam o método de acesso ao meio CSMA/CA. De acordo com o CSMA/CA, sempre que uma STA 802.11 deseja transmitir um quadro, ela primeiro precisa “ouvir” o meio à procura de outras transmissões. Se o meio permanecer livre durante um intervalo de tempo predeterminado (Distributed Inter-Frame Space - DIFS), ela inicia a transmissão do seu quadro em espera. Se durante o intervalo em que a STA passou ouvindo o meio, ela detectar alguma outra transmissão, a STA deve esperar o seu término antes de iniciar a sua transmissão. Além disso, uma vez que outra transmissão é detectada antes da transmissão de um quadro, a estação deve esperar além de DIFS, um intervalo de tempo sorteado aleatoriamente (backoff) para evitar colisões[10].

O método de acesso CSMA/CA permite que as STAs 802.11 próximas compartilhem o acesso ao meio evitando transmissões simultâneas. Entretanto, este método também faz com que as STAs de redes distintas que estão suficientemente próximas compartilhem a capacidade do meio de comunicação ao utilizar o mesmo canal ou canais sobrepostos. Os rádios 802.11 detectam as transmissões de outras STAs 802.11 ou de outros dispositivos interferentes através do nível de energia presente no canal de operação. Quando o nível de energia ultrapassa um determinado limiar,

Capítulo 2 - Estado da Arte

conhecido como limiar de detecção de portadora (Carrier Sense Threshold), o meio é considerado ocupado. Desta forma, STAs posicionadas próximas o suficiente para que o nível de sinal ultrapasse o limiar de detecção de portadora, irão compartilhar o acesso ao meio e dividir a capacidade do canal por elas utilizado[10].

O compartilhamento da capacidade do canal é uma das formas de interferência nas redes 802.11. Esta é a forma de interferência mais prejudicial, pois reduz drasticamente a capacidade das STAs. Considerando duas STAs em plena carga como, por exemplo, durante uma transferência de longa duração de um arquivo grande, pode-se dizer que a capacidade individual de cada uma das duas STAs é reduzida à metade se elas compartilham o acesso ao meio.

A Figura 2.9 mostra um exemplo onde os alcances de detecção de portadora e o alcance de recepção da STA 1 estão em destaque. O alcance de recepção é uma característica que depende do nível de energia do sinal recebido e da sua relação sinal/ruído (Signal to Interference plus Noise Ratio - SINR). Um quadro só é recebido corretamente se o sinal recebido estiver acima do limiar de recepção (Rx Threshold) para a taxa utilizada e possuir uma SINR suficiente para a sua decodificação correta. Portanto, de acordo com o método de acesso CSMA/CA, as STAs 2 e 3 irão compartilhar o acesso ao meio com a STA 1. Além disso, também podemos dizer que as transmissões da STA 2 serão recebidas corretamente pela STA 1, pois a STA 2 se encontra dentro do seu alcance de recepção[10].

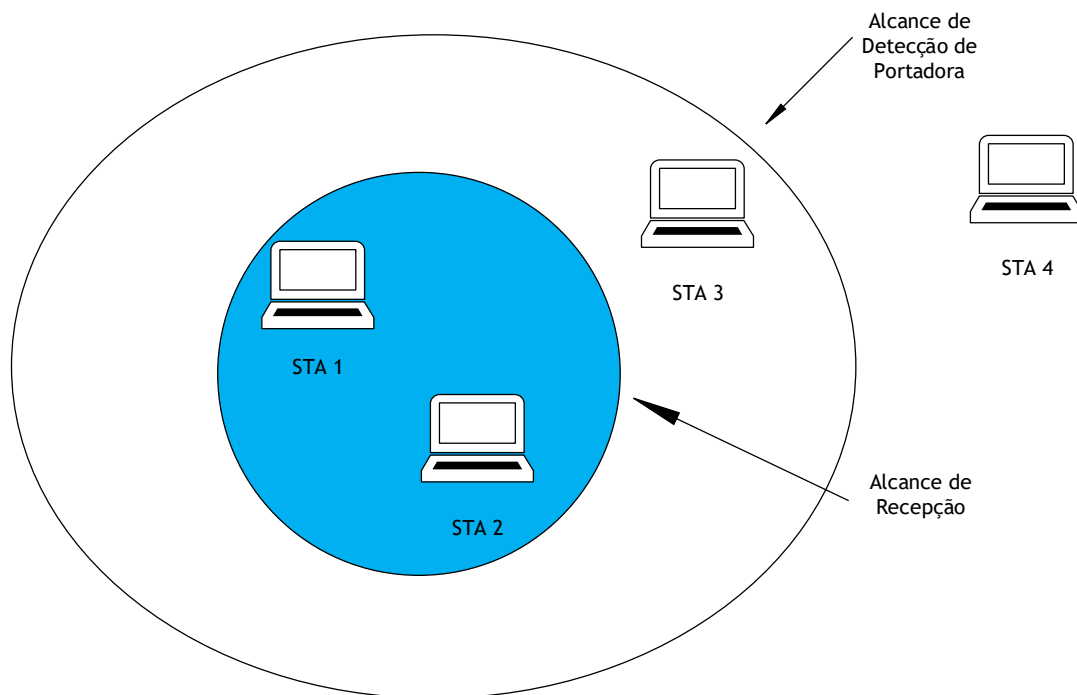


Figura 2.9 Funcionamento do CSMA/CA.

Ainda na Figura 2.9, pode-se perceber que a STA 4 está fora do alcance de detecção da portadora da STA 1 e não será capaz de detectar as transmissões da mesma. Neste caso, apesar de não detectado, o sinal gerado pelas transmissões da STA 1 será recebido como interferência na STA 4, conhecida como interferência co-canal. A interferência co-canal é o outro tipo de interferência que afeta as redes 802.11 e seu efeito prejudicial é o aumento do nível de interferência, que somada ao ruído de fundo, causa a diminuição da SINR, piorando a qualidade dos sinais recebidos e dificultando a decodificação dos mesmos. Além disso, se a quantidade de fontes de interferência co-canal for suficientemente grande, as suas contribuições podem aumentar o nível de interferência de tal forma que o mesmo ultrapasse o limiar de detecção de portadora, causando o primeiro tipo de interferência.

Estes dois fenômenos de interferência apresentados diminuem a capacidade máxima das redes 802.11. No caso das redes 802.11 no modo

infraestruturado, esses dois tipos de interferência podem se manifestar em diferentes situações, tanto nos APs como nas STAs clientes.

2.3 Nível de Rede

O nível de Rede da arquitetura TCP/IP é equivalente ao nível 3 (Rede) do modelo OSI[2]. Existem vários protocolos que podem operar neste nível: Internet Protocol (IP), Internet Control Message Protocol (ICMP), Address Resolution Protocol (ARP) e o Reverse Address Resolution Protocol (RARP). Na transmissão de um dado de programa, o pacote de dados recebidos do nível TCP é dividido em pacotes chamados *datagramas*. Os datagramas são enviados para o nível de interface com a rede, onde são transmitidos pelo cabeamento da rede através de quadros. Este nível não verifica se os datagramas chegaram ao destino, isto é feito pelo TCP. Este nível é responsável pelo roteamento de pacotes, isto é, adiciona ao datagrama informações sobre o caminho que ele deverá percorrer.

Como dissemos anteriormente, o protocolo TCP/IP é roteável, isto é, ele foi criado pensando-se na interligação de diversas redes onde podemos ter diversos caminhos interligando o transmissor e o receptor culminando na rede mundial que hoje conhecemos por Internet. Por isso, ele utiliza um esquema de endereçamento lógico chamado *endereçamento IP*. Em uma rede TCP/IP cada dispositivo conectado em rede necessita usar pelo menos um endereço IP. Esse endereço permite identificar o dispositivo e a rede na qual ele pertence[2].

A principal função do IP é o roteamento, ou seja, adicionar mecanismos para que o datagrama chegue o mais rapidamente possível ao seu destino.

2.4 Nível de Transporte

O nível de transporte do TCP/IP é um equivalente direto do nível de transporte (nível 4) do modelo OSI. Este nível é responsável por pegar os

dados enviados pelo nível de aplicação e transformá-los em pacotes, a serem repassados para o nível de Rede[2]. Na arquitetura TCP/IP o nível de transporte utiliza um esquema de multiplexação, onde é possível transmitir “Simultaneamente” dados das mais diferentes aplicações. Na realidade, ocorre o conceito de intercalamento de pacotes; vários programas poderão estar comunicando-se com a rede ao mesmo tempo, mas os pacotes gerados serão enviados à rede de forma intercalada, não sendo preciso terminar um tipo de aplicação de rede para então começar outro. Tudo isso é possível graças ao uso do conceito de portas, já que dentro do pacote há a informação da porta de origem e de destino do dado[2]. Neste nível operam dois protocolos: o já mencionado Transmission Control Protocol (TCP) e o User Datagram Protocol (UDP). Ao contrário do TCP, este segundo protocolo não verifica se o dado chegou ou não ao destino. Por esta razão, o protocolo mais utilizado na transmissão de dados é o TCP, ao passo que o UDP é tipicamente usado na transmissão de informações de controle.

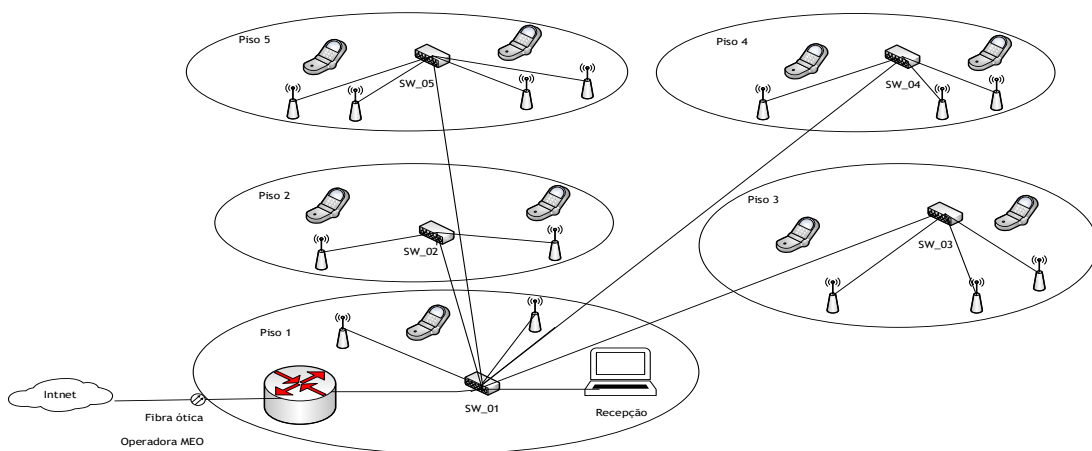


Figura 2.10Arquitetura da solução Wi-Fi existente.

Para implementação do projeto serão necessários alguns equipamentos de hardware que serão detalhados nesta seção.

Capítulo 2 - Estado da Arte

Servidor - Será responsável pela autenticação do utilizador na rede, tornando disponível o uso da internet ao utilizador cadastrado.

Switch - Funciona como um nó central de uma rede em estrela. Um switch mapeia os endereços dos nós que residem em cada segmento da rede e permite apenas a passagem do tráfego necessário[11].

Router - Os routers também coletam, descobrem e agregam informações sobre as rotas de comunicação que podem ser usadas pelos computadores e demais equipamentos no momento do envio dos pacotes de dados. Essa tarefa é gerenciada e executada pelos protocolos de roteamento que funcionam internamente ao roteador[12].

Access point - Tem a funcionalidade de ponte, ligação, entre equipamentos sem fio a uma rede cabeada.

2.5 Nível de Aplicação

O nível de aplicação do TCP/IP é um equivalente direto dos níveis (5, 6 e 7) do modelo OSI e faz a comunicação entre os aplicativos e o protocolo de transporte. Existem vários protocolos que operam neste nível, entre eles podemos citar os mais conhecidos tais como: o Hypertext Transfer Protocol (HTTP), Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), File Transfer Protocol (FTP), Simple Network Management Protocol (SNMP), o Domain Name System (DNS), Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) e o Telnet[2]. O nível de aplicação comunica com o nível de transporte através de uma *porta*. As portas são numeradas e as aplicações padrão usam sempre uma mesma porta. Por exemplo, o protocolo SMTP utiliza a porta 25, o protocolo HTTP utiliza sempre a porta 80 e o FTP as portas 20 (para transmissão de dados) e 21 (para transmissão de informações de controlo). O uso de um número de porta permite ao protocolo de transporte (tipicamente o TCP) saber qual é o tipo de conteúdo do pacote de dados e, no recetor, saber para qual protocolo de aplicação ele deverá entregar o pacote de dados[2].

2.5.1 Domain Name System

Todas as máquinas numa rede TCP/IP possuem um endereço IP. Acontece que os endereços IP não são tão fáceis de ser recordados quanto nomes. Por isso, foi criado o sistema DNS, que permite dar nome a endereços IP, facilitando a localização de máquinas por nós, humanos[2].

Endereços como `www.minhaubi.pt` na verdade são uma conversão para a forma nominal de um endereço IP (é muito mais fácil guardar o endereço nominal `www.minhaubi.pt` do que o endereço IP `200.168.168.2`, por exemplo). Quando você entra esse endereço em um browser Internet, o browser se comunica com um servidor DNS, que é responsável por descobrir o endereço IP do nome entrado, permitindo que a conexão seja efetuada[2]. Desta forma, os servidores DNS possuem duas funções: converter endereços nominais em endereços IP e vice-versa.

Cada rede local TCP/IP precisa ter ao menos um servidor DNS. Todos os pedidos por conversão de nomes em endereços IP e vice-versa são enviados a este servidor. Caso ele não consiga efetuar essa conversão (também chamada *resolução*), ele responde o pedido informando o endereço de um servidor que seja hierarquicamente superior a ele e, com isso, a maior probabilidade de conhecer o endereço solicitado[2]. Se o outro servidor contactado também não conhecer o endereço, ele responderá informando o endereço de outro servidor hierarquicamente superior e assim sucessivamente, até o endereço ser localizado (ou não, caso seja um endereço inexistente).

2.5.2 Dynamic Host Configuration Protocol

Cada dispositivo que se conecta a uma rede precisa de um endereço IP exclusivo. Os administradores de rede atribuem endereços IP estáticos aos roteadores, servidores, impressoras e a outros dispositivos de rede cujos

locais (físicos e lógicos) provavelmente não serão alterados. O DHCP atribui endereços IP e outras informações de configuração de rede dinamicamente, ela é uma ferramenta extremamente útil para poupar o tempo de administradores de rede.

O DHCP é um protocolo que permite que não precise configurar o endereço IP de cada máquina da rede[2]. O DHCP é responsável em distribuir automaticamente um endereço IP para cada máquina nova que se conecta na rede. Assim em vez de ter de configurar o endereço IP de cada máquina individualmente, basta configurá-la em “Obter um endereço IP automaticamente” na janela de configuração do protocolo TCP/IP.

2.6 Ferramentas

2.6.1 Site Survey

Wireless Survey ou Site Survey é uma técnica que pode ser utilizada para medir e visualizar os níveis de intensidade do sinal nos diversos ambientes de um edifício. Analisa o ambiente, para saber quais são as melhores condições para implementar a rede wireless. O Site Survey também é capaz de identificar possíveis zonas de interferência ou ruído presentes no local de avaliação por meio da análise dos resultados obtidos em uma coleta[13].

Existe várias ferramentas para criar mapas de calor e planejamento, tais como o Ekahau Site Survey [14], Xirrus Wi-Fi Designer [15] e NetSpot Wi-Fi Site Survey [16]. Optou-se pelo Xirrus Wi-Fi Designer por ser um programa profissional e completamente gratuito, funcionando tanto em Windows quanto no macOS. Na Figura 2.11 se ilustra exemplo de um mapa de calor no Xirrus.

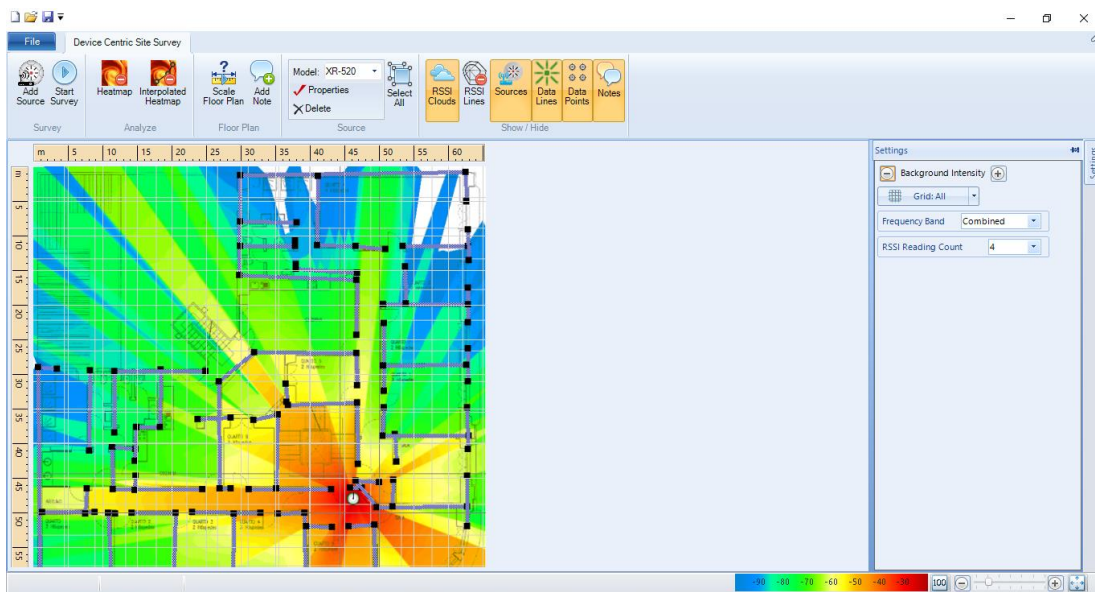


Figura 2.11 Xirrus Wi-Fi Designer.

2.6.2 Monitorização de conectividade

Existem várias ferramentas para a monitorização da conectividade de redes Wi-Fi, como se ilustra na Tabela 2.4. Optou-se pelo Speedtest por ser um aplicativo web. O Speedtest testa a latência (ou Ping), a velocidade de download e a velocidade de upload da Internet, como se ilustra na Figura 2.12.

O Wi-Fi Monitor apesar de ser uma ferramenta poderosa que permite observar o estado das redes Wi-Fi e coletar dados sobre seus parâmetros (força do sinal, frequência, velocidade de conexão, etc), não foi utilizada porque no momento do levantamento de medidas não se dispunha desta ferramenta.

Tabela 2.4 Monitorização de conectividade.

Produto	Características
---------	-----------------

Capítulo 2 - Estado da Arte

Speedtest[17]	Monitorização do débito [Mb/s]
Dr. Wi-Fi[18]	Monitorização do débito [Mb/s]
Wi-Fi Monitor[19]	Monitorização do débito [Mb/s] e dacobertura [dBm]



Figura 2.12 Speedtest.

Apresentam-se, na Tabela 2.5, algumas ferramentas para a monitorização e gestão de redes Wi-Fi.

Tabela 2.5 Monitorização e gestão.

Produto	Características
UniFi Controller[20]	Monitorização de APs
PRTG Network Monitor[21]	Monitorização de tráfego de rede, PC e impressoras na rede
UNMS[22]	Monitorização de Antenas da UniFi

3 Etapas para o Desenho e Implementação de uma Solução

3.1 Modelo

O desenho de uma solução Wi-Fi requer um conjunto de passos, representados na Figura 3.1 e detalhados nas secções seguintes.

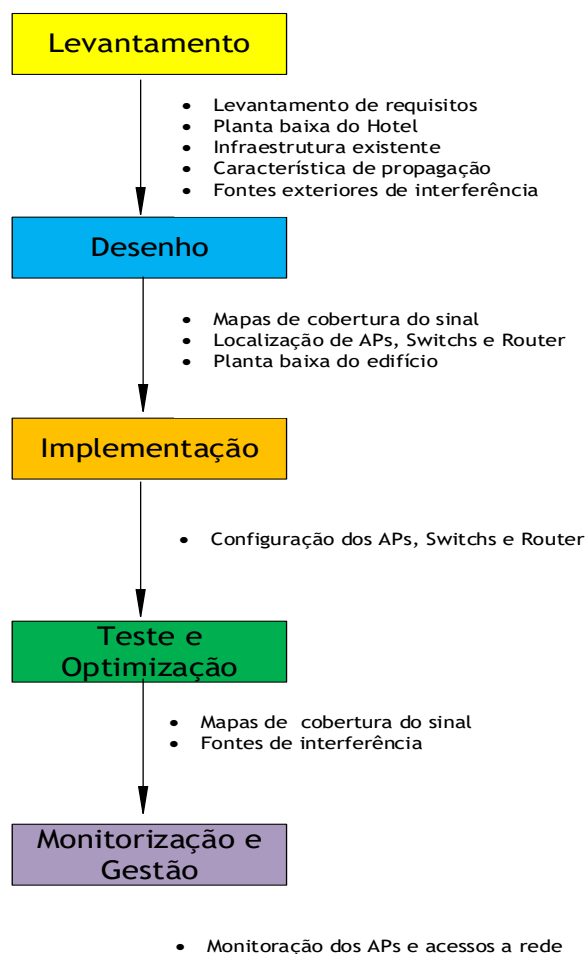


Figura 3.1 Passos para desenho de uma solução sem fios para um hotel.

3.2 Metodologia

3.2.1 Levantamento

Na fase de levantamento faz-se o estudo do ambiente onde será instalada a rede sem fios, para que seja escolhida a localização mais adequada para a instalação dos APs. A análise do local é importante para recolher informações que ajudarão a determinar a quantidade e a localização dos APs, além de determinar e amenizar a influência negativa de fatores externos. O objetivo é oferecer cobertura adequada e boa performance de acesso aos utilizadores[23].

O levantamento tem os seguintes dados de entrada:

- Levantamento de requisitos
- Planta baixa do local
- Infraestrutura existente (por exemplo, rede cablada).
- Característica de propagação

Com estes inputs faz-se levantamento de medidas da rede existente, estima-se condições de propagação, afina-se a ferramenta de estimação de intensidade de sinal e a afina-se a estimativa de velocidade de transmissão, faz-se o levantamento de requisitos para identificar os dispositivos que serão utilizados (Notebook, telefones sem fio), os tipos de dados (dados, voz, vídeo), o comportamento do utilizador (fixo ou em movimento), assim como o número de utilizadores.

O levantamento tem os seguintes dados de saída:

- Estimativa dos dispositivos conectados
- Mapa de calor da solução existente
- Acessos à rede existente
- Fontes exteriores de interferência

3.2.2 Desenho

O desenho pode ser utilizado para identificar e resolver os problemas de uma rede já existente, permitindo otimizar a área de cobertura (alcance) e minimizar as falhas.

A fase de desenho tem os seguintes dados de entrada:

- requisitos (estimativa da quantidade de dispositivos conectados)
- Acessos à rede (Fibra óptica, ADSL, VoIP)
- Fontes exteriores de interferência
- Mapa de cobertura do sinal
- Localização de APs, Switchs e Router

Com estes inputs fez-se vários desenhos possíveis para os quais se analisou sinal, velocidade, potência, custo e impacto ambiental, fez-se mapas de cobertura, avalia-se a cobertura e capacidade, identifica-se a posição dos APs e valida-se os locais ótimos para a instalação dos APs de modo a maximizar o alcance e minimizar a interferência do canal dos dispositivos eletrônicos circundantes e objetos físicos. Com tudo isso escolhe-se o melhor planeamento, fazem-se vários gráficos (histogramas), para avaliar qual o melhor planeamento.

A fase de desenho tem os seguintes dados de saída:

- Mapa de cobertura do sinal ou mapa de calor (HeatMap)
- Posicionamento dos APs, Switchs e Router
- Equipamentos necessários
- Orçamento

3.2.3 Implementação

Feito o desenho, segue-se a implementação que permite instalar e configurar os equipamentos, verificar se a intensidade do sinal, medido em

diversos pontos da área de interesse, é satisfatória para o funcionamento da rede.

A fase de implementação tem os seguintes dados de entrada:

- Mapa de cobertura do sinal (HeatMap)
- Posicionamento dos APs, Switchs e Router
- Lista de equipamentos necessários
- Orçamento

Com estes inputs faz-se a configuração e instalação dos equipamentos necessários, posicionam-se nos locais definidos e faz-se o orçamento da instalação e manutenção, assim como as seguintes configurações:

- Configurações de router
 - VPN para gestão remota
 - VLAN's
 - Firewall
- Configurações de Switch
- Configurações de APs
 - Atribuição das VLAN's aos SSID's

A fase de implementação tem os seguintes dados de saída:

- Configuração, Instalação e ligação dos equipamentos (APs, Switchs e Router)
- Locais ideais para cada AP para garantir o máximo de cobertura e desempenho.

3.2.4 Teste e Otimização

Os projetos devem ser testados pela realidade do uso, um aspeto importante, que diz respeito tanto aos testes de cobertura quanto à capacidade, é o balanceamento de carga entre os APs, isto é, a forma como os diversos utilizadores são distribuídos.

Capítulo 3 - Etapas para o Desenho e Implementação de uma Solução

A fase de otimização tem os seguintes dados de entrada:

- Configuração, Instalação e ligação dos equipamentos (APs, Switchs e Router)
- Locais ideais para cada AP para garantir o máximo de cobertura e desempenho.

Com estes inputs fez-se testes de cobertura do sinal, potência e de velocidade.

A fase de otimização tem os seguintes dados de saída:

1. Cobertura do sinal
2. Velocidade e taxa de erros
3. Possíveis fontes de interferência
4. Percentagem de cobertura (métrica)
5. Débito médio (métrica)

3.2.5 Monitorização e Gestão da Rede

A monitorização e a gestão da rede localmente ou de forma remota permite-nos ter uma visão mais ampla da nossa infraestrutura da rede, controlar os dispositivos conectados, as possíveis falhas e canais interferentes, assim como o comportamento dos utilizadores na rede e antecipar a resolução de problemas.

A fase de monitorização tem os seguintes dados de entrada:

1. Cobertura do sinal
2. Velocidade e taxa de erros
3. Possíveis fontes de interferência
4. Percentagem de cobertura (métrica)
5. Débito médio (métrica)

Com estes inputs faz-se a monitorização dos APs em funcionamento, da quantidade de equipamentos ligados, dos níveis de sinal e débitos.

A fase de monitorização tem os seguintes dados de saída:

- Sensores ativos
- UniFi Controller para Monitorização os APs
- UNMS para Monitorização de antenas da UniFi
- PRTG para Monitorização do tráfego, PCs e impressoras.

3.3 Métricas de Desempenho

As métricas de desempenho utilizadas neste trabalho são as seguintes:

- **Cobertura [dBm]:** é a intensidade do sinal Wi-Fi medida tradicionalmente em decibéis em relação a um miliwatt.
- **Débito [Mb/s]:** é a taxa de transferência de dados entre o emissor e o recetor. O débito máximo que se pode obter está limitado pelo débito da rede. O débito de um fluxo também pode ser afetado pelos outros fluxos que partilham a rede.
- **Consumo Energético [kWh/mês]:** é o consumo de energia que um aparelho gasta para executar uma ação ou reação.
- **Impacto ambiental [Kg de CO₂/mês]:** é uma mudança no meio ambiente causada pela atividade do ser humano.
- **Custo [€]:** quantifica o preço da solução proposta. Os custos foram classificados em CAPEX e OPEX, sendo o CAPEX (capital expenditure), despesas de capital ou investimento em bens de capital e que designa o montante de dinheiro despendido na aquisição de bens de capital de uma determinada empresa, já o OPEX (operational expenditure) refere-se ao custo associado à manutenção dos equipamentos e aos gastos de consumíveis e outras despesas operacionais, necessários à produção e à manutenção em funcionamento do negócio ou sistema.

Capítulo 3 - Etapas para o Desenho e Implementação de uma Solução

4 Caso de Estudo

4.1 Levantamento

4.1.1 Descrição do Cenário

O local proposto para investigação, desenho e implementação de uma solução de rede Wi-Fi para indústria hoteleira foi o Hotel Tagus Palace, localizado na rua Alexandre Herculano 6, Lisboa. Apresenta-se o levantamento do espaço físico onde a solução será estabelecida. É analisado o tipo de infraestrutura do edifício, verifica-se se já existe uma infraestrutura de rede implementada, que equipamentos são utilizados, onde passa os cabos, e a que tipo de interferência ela está sujeita. Define-se por outro lado a área de cobertura desejada assim como os objetivos almejados com a implementação de uma nova rede Wi-Fi.

Na Figura 4.1 apresenta-se a planta baixa do primeiro andar do hotel Tagus Palace, as plantas dos restantes andares encontrando-se no Anexo A.

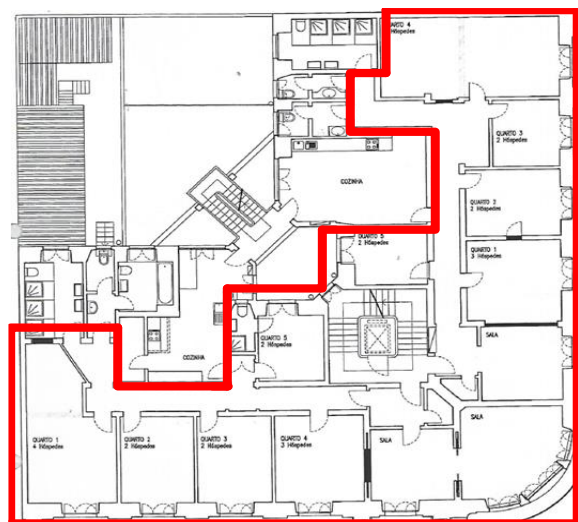


Figura 4.1 Planta evidenciado a área que se pretende cobrir.

Na Tabela 4.1 apresentam-se as características do hotel em termos de número de quartos e outros tipos de divisões existentes. Apesar de variar ligeiramente o número de quartos, a característica dos andares é muito semelhante, por esta razão a disposição dos APs não será diferente nos vários andares.

Tabela 4.1 Identificação dos diferentes tipos de divisão por andar do Hotel Tagus Palace.

Andar	Quartos	Cozinhas	Salas	Arquivo	Arrumos
1º	10	2	3	-	-
2º	11	2	2	-	1
3º	9	1	3	1	1
4º	11	2	2	-	2
5º	10	2	2	-	2

No hotel existe uma rede Wi-Fi, como se ilustra Figura 4.2, que conta com uma sala técnica no primeiro andar onde está o bastidor com um router que recebe o link da Internet através de fibra ótica da operadora MEO com 500Mb/s. O router tem como função principal o endereçamento dos pacotes aos utilizadores conectados a rede. No bastidor existe um Switch central que recebe o sinal do router. Em cada um dos andares encontra-se um Switch com 8 portas TP-Link que permita a ligação dos APs. No Switch central saem 4 cabos para cada um dos switches que se encontram em cada um dos andares, para interligação dos equipamentos internos por andar. Essa ligação é feita através de cabo Gigabit Ethernet Cat 5e.

A caracterização dos materiais constituintes do edifício, tais como a espessura das paredes, escadas, presença de obstáculos metálicos, lista-se na Tabela 4.2. Fez-se o levantamento do número de quartos e a estimativa de pessoas por andar, como se lista na Tabela 4.3.

Capítulo 4 - Caso de Estudo

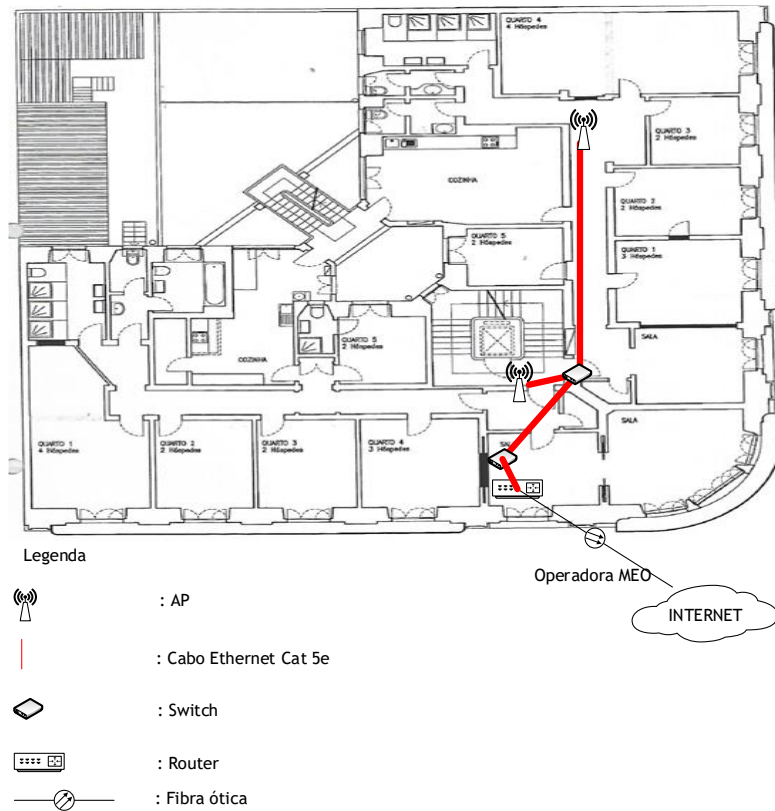


Figura 4.2 Arquitetura da Solução existente.

Tabela 4.2 Materiais constituintes do edifício.

Materiais	Descrição
Espessura das paredes	Parede feita de cimento (betão): espessura de 35 cm a 40 cm.
Escadas	Tem
Obstáculos metálicos	Não tem

Tabela 4.3 Estimativa de número de pessoas e dispositivos

Número de andares	5
Número total de quartos	51
Número pessoas por andar	26
Capacidade máxima de hospedes no Hotel	129

Fez-se a identificação das áreas de interesse de cobertura, assim como da capacidade a instalar. Além dos quartos, pretende-se cobrir as salas de refeições e as salas de estar, contando com uma capacidade de 30 a 40 pessoas por andar e levando em consideração que cada pessoa pode ter dois dispositivos (Telefone, Tablet ou Computador).

Em termos de débitos a capacidade que se pretende oferecer é de 30Mb/s.

Neste estudo toma-se como pressuposto que o sinal mínimo para poder considerar-se que existe cobertura é -60 dBm[24].

Como custo de instalação, teste e configuração de equipamentos, tomou-se o valor de 750 €, indicado pela empresa tecnológica PEGASI Serviços e Consultadoria, Lda.

Considera-se que o custo de energia é 0,31 €/kWh. Em termos de emissões de CO₂(poluição), considera-se por outro lado que a produção de 1 kWh emite 537 g de CO₂[25].

4.1.2 Campanha de Medidas

No levantamento do cenário constatou-se a existência de uma infraestrutura de rede, como se ilustra na Figura 4.2. Fez-se a análise da rede do 1º andar para aferir valores de referência de cobertura e de débito. A rede existente é constituída por dois APs localizados no corredor, denominada de PC2. Fez-se uma campanha de medidas, como levantamento das condições atuais, que servirá de termo de comparação com a solução a ser proposta.

Recorrendo à ferramenta Xirrus construiu-se o mapa de calor do nível de sinal recebido, como se ilustra na Figura 4.3. Considera-se que -60 dBm é o nível mínimo de sinal aceitável para se considerar que há boa cobertura, o que permite interpretar este mapa de calor como mapa de cobertura. As zonas a verde não têm cobertura.

Capítulo 4 - Caso de Estudo

Constrói-se igualmente um histograma da cobertura. Dividiu-se o mapa de calor da Figura 4.3 em quadriculas, tendo sido avaliado o nível de sinal recebido em cada quadricula; contam-se as ocorrências de cada cor, permitindo criar um histograma, como se ilustra na Figura 4.4, para caracterizar a cobertura. A barra verde contabiliza o número de quadriculas sem cobertura.

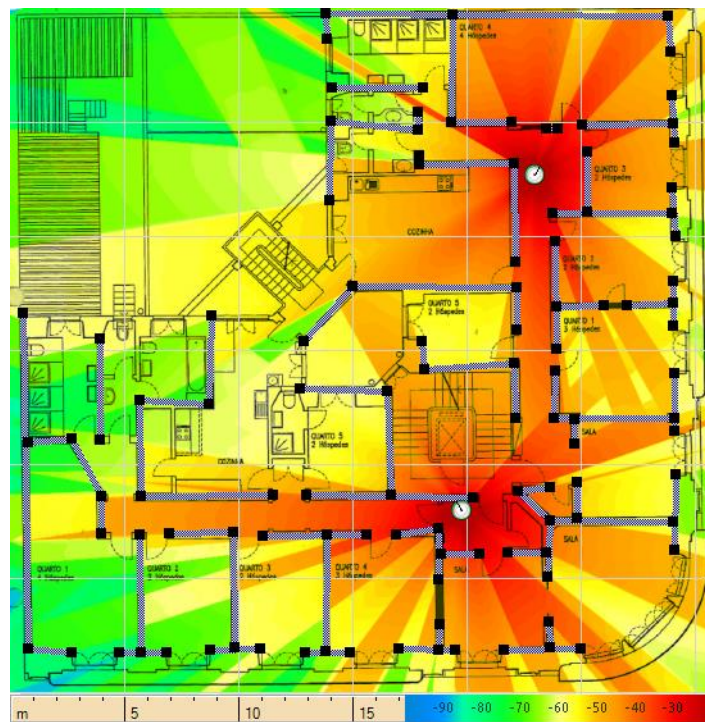


Figura 4.3 Mapa de calor do nível de sinal recebido (em dBm), considerando os APs atualmente existentes.

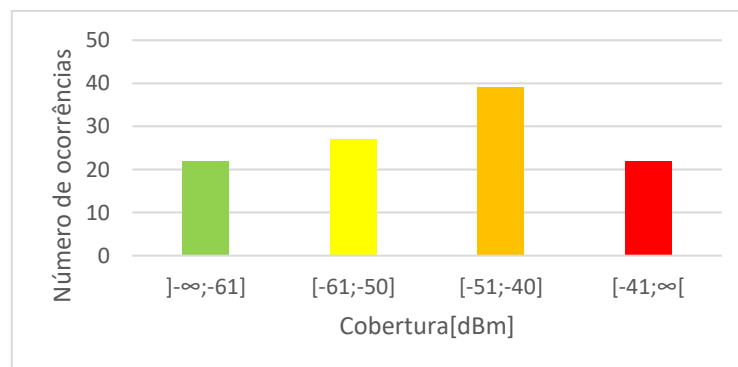


Figura 4.4 Nível de sinal recebido (em dBm), considerando os APs atualmente existentes.

Fez-se igualmente uma campanha de medidas do débito UL e DL, usando a ferramenta Speedtest. As medidas foram feitas para os seguintes cômodos: corredores, recepção, sala de estar e quarto, tal como se ilustra na Figura 4.5. Foram assinalados com um X os pontos onde foram feitas as medidas. A Tabela 4.4 destaca os pontos onde foram feitas medições de débito, apresentando uma correspondência entre o nível de sinal recebido estimado pelo Xirrus e o valor de débito medido em DL e UL pelo Speedtest. Em cada ponto fez-se 3 medidas, apresentando-se a média dos valores medidos.

Com base nas medidas, estima-se o débito médio por nível de sinal recebido (representado pelas quatro cores) apresentado na

Tabela 4.5. é uma discretização feita em quatro níveis diferentes. Esta tabela permite fazer um mapeamento direto entre nível de sinal e débito, útil para estimar o débito com base no mapa de calor.

Capítulo 4 - Caso de Estudo



Figura 4.5 Planta identificando com cruzeiros os pontos de medida.

Tabela 4.4 Características dos pontos medidos

	Coord. (x,y)	Potência Recebida		Débito [Mbps]	
		Cor do mapa de calor	Nível de sinal recebido [dBm]	DL	UL
1	(2,3)	Amarelo	-51 a -40	26	28
2	(3,3)	Amarelo	-51 a -40	39	26
3	(4,3)	Amarelo	-51 a -40	41	29
4	(5,3)	Amarelo	-51 a -40	33	26
5	(6,3)	Amarelo	-51 a -40	33	23
6	(7,3)	Amarelo	-51 a -40	25	28
7	(8,3)	Vermelho	>-41	34	30
8	(9,3)	Vermelho	>-41	39	29

	Coord. (x,y)	Potência Recebida		Débito [Mbps]	
		Cor do mapa de calor	Nível de sinal recebido [dBm]	DL	UL
9	(10,1)		>-41	41	29
10	(10,2)		>-41	31	28
11	(10,5)		>-41	36	29
12	(10,6)		>-41	47	30
13	(10,7)		>-41	20	22
14	(10,8)		>-41	31	29
15	(10,9)		-51 a -40	28	21
16	(10,10)		-51 a -40	25	15
17	(11,1)		>-41	42	28
18	(11,2)		-51 a -40	43	25
19	(12,2)		-61 a -50	20	20
20	(12,10)		-51 a -40	25	20
21	(12,11)		< -61	32	28

Tabela 4.5 Correspondência entre nível de sinal recebido e débito médio medido em DL e UL.

Cor do Mapa de Calor	Potência Recebida [dBm]	Débito [Mbps]	
		DL	UL
	>-41	36	28
	[-51, -40[32	24
	[-61, -50[20	20
	< -61	23	28

4.2 Desenho

4.2.1 Planeamentos para Avaliação

Nesta secção apresenta-se um estudo detalhado para o 1º andar hotel. Não existem muitas diferenças entre andares, podendo-se extrapolar os resultados para os restantes. Apenas o 3º andar é um pouco diferente, pois há menos paredes como se mostra na planta baixa no Anexo A, Figura A.3.

O desenho é uma etapa importante onde, para cada um dos planeamentos possíveis, faz-se os mapas de calor, analisa-se e avalia-se os resultados do desempenho de acordo com várias métricas.

Em termos de infraestrutura, precisa-se de 1 roteador e 5 Switchs, um por andar. No bastidor existe um Switch central que recebe o sinal do router. Em cada um dos andares será necessário a colocação de um Switch que permita a ligação dos APs à rede estruturada. No Switch central saem 4 cabos para cada um dos switchs que se encontram em cada um dos andares, para interligação dos equipamentos internos por andar. Essa ligação é feita através de cabo Gigabit Ethernet Cat 5E.

Em termos de disposição dos APs, existem duas abordagens possíveis:

- **Colocar os APs nos corredores:** para dar cobertura do sinal os quartos, salas e corredores.
- **Colocar os APs dentro dos quartos:** para obter melhor cobertura dentro dos quartos.

Antes de posicionar os APs nas plantas, divide-se as áreas de interesse em zonas de cobertura, como se ilustra na Figura 4.1. O Xirrus não posiciona os APs nas áreas a serem cobertas. O utilizador é que escolhe a posição, e com base nesta escolha, quando se posiciona um AP numa determinada área, o Xirrus auxilia na determinação da localização ótima do AP, mostrando

através das cores expandidas os sítios que considera que apresentam melhor cobertura.

Avaliaram-se vários tipos de planeamentos que passaremos a designar como P_{C1} , P_{C2} , P_{C3} , P_{C4} , P_{Q1} , P_{Q2} , P_{Q3} e P_{Q4} (C:corredor, Q: quarto, número: quantidade de APs no andar), caracterizados na Tabela 4.6, e comparou-se com o planeamento existente, para determinar qual a melhor solução a implementar no cenário em estudo.

Tabela 4.6 Distribuição dos APs em cada Planeamento.

Planeamento	Número de APs	Localização dos APs
P_{C1}	1	Corredor
P_{C2}	2	
P_{C3}	3	
P_{C4}	4	
P_{Q1}	1	Quarto
P_{Q2}	2	
P_{Q3}	3	
P_{Q4}	4	

Nas secções seguintes analisa-se o desempenho dos vários planeamentos de acordo as métricas apresentadas na secção 3.3. Apresentam-se nas secções seguintes os resultados da análise para o 1º andar. Apesar de variar ligeiramente o número de quartos, a configuração dos andares é muito semelhante, pelo que os planeamentos serão aplicáveis aos restantes andares. A solução a propor será para todo hotel, não apenas para um andar.

4.2.2 Análise da Cobertura

Na Figura 4.6 apresenta-se o mapa de calor do nível de sinal recebido, em dBm, para o planeamento P_{C3} . Os mapas de calor para os restantes planeamentos estão no Anexo B. Para comparar a cobertura entre

Capítulo 4 - Caso de Estudo

planeamentos são construídos histogramas com base nos respectivos mapas de calor. Divide-se a área em quadrículas, avaliando-se a ocorrência de 4 intervalos de nível de sinal recebido:

- inferior a -61 dBm (verde);
- entre -61 e -50 dBm (amarelo);
- entre -51 e -40 dBm (laranja);
- superior a -41 dBm (vermelho).

Nas Figura 4.7 e Figura 4.8 apresentam-se os histogramas resultantes para o planeamento P_{C3} , do número de ocorrências (Figura 4.7) e em termos percentuais (Figura 4.8). Os resultados para os restantes planeamentos encontram-se ilustrados no Anexo B.



Figura 4.6 Mapa de calor do nível de sinal recebido, em dBm, para o Cenário P_{C3} .

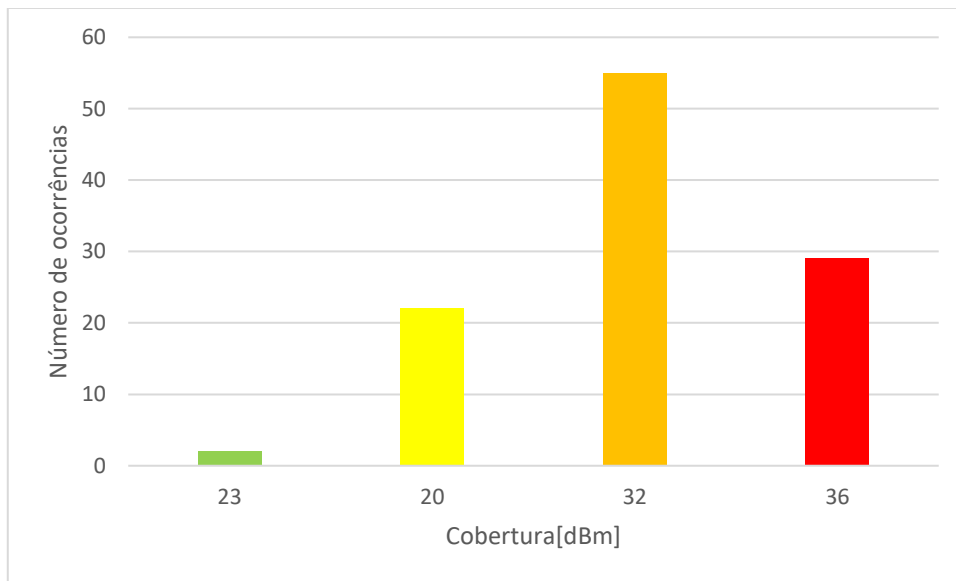


Figura 4.7 Histograma do nível de sinal recebido (em número de ocorrências) no Cenário P_{C3} .

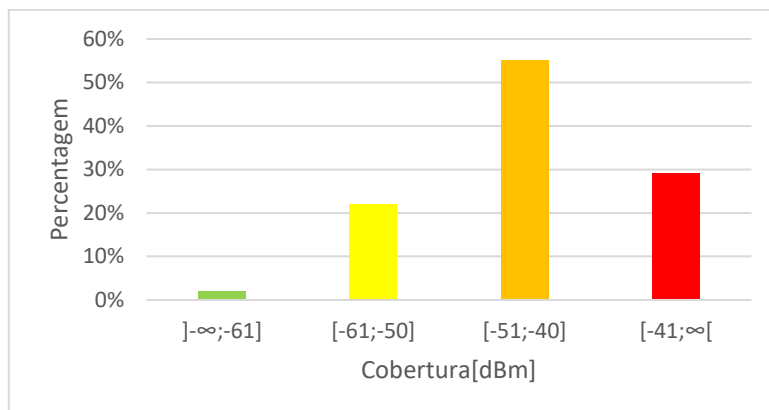


Figura 4.8 Histograma do nível de sinal recebido no Cenário P_{C3} .

Na Figura 4.9 apresenta-se uma análise comparativa dos planeamentos propostos com os APs nos corredores e nos quartos respectivamente. Considera-se que existe cobertura em zonas onde o nível de sinal recebido é igual ou superior a -60 dBm. Assim, é possível estimar a percentagem de cobertura do andar, para cada um dos planeamentos em estudo, tal como indicado na Tabela 4.7. O melhor planeamento é o P_{Q4} que apresenta uma cobertura em 100%, tendo o P_{C3} uma cobertura de 98% e o P_{C2} de 80%. O

Capítulo 4 - Caso de Estudo

P_{C3} aumenta em 18% a cobertura, em relação ao P_{C2} , sendo que o P_{Q4} apenas mais 2% em relação ao P_{C3} .

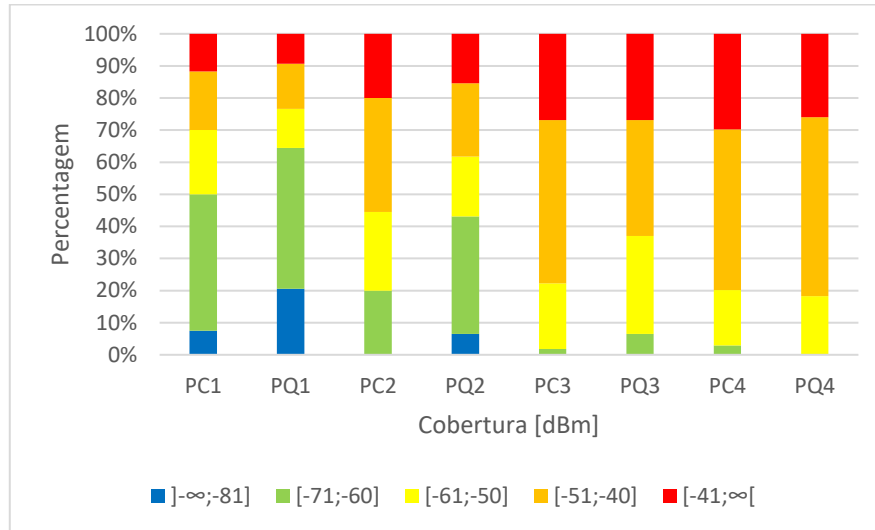


Figura 4.9 Histograma do nível do sinal recebido para os planeamentos com os APs no Corredor e nos Quartos.

Tabela 4.7 Percentagem da área com nível acima de -60 dBm.

	Cobertura [%]
P_{C1}	50
P_{Q1}	35
P_{C2}	80
P_{Q2}	57
P_{C3}	98
P_{Q3}	92
P_{C4}	97
P_{Q4}	100

Nesta secção avalia-se a cobertura para os vários planeamentos em estudo e pelos resultados obtidos chega-se as seguintes conclusões: o pior planeamento é o P_{Q1} e o melhor é o P_{Q4} em termos de percentagem de área com nível acima dos -60 dBm de 100%. O planeamento que propôs-se foi o P_{C3} que se ilustra nas Figura 4.7 e Figura 4.8 que é melhor que a infraestrutura

existente atualmente P_{C2} em termo de percentagem de área com nível acima dos -60 dBm com 98% contra os 80% do P_{C2} como se ilustra na Tabela 4.7 **Error! Reference source not found.**

4.2.3 Análise do Débito

Para estimar o débito recorre-se à correspondência entre o nível de sinal recebido e o débito, apresentado na Tabela 4.4. Com base nessa tabela constrói-se o histograma do débito como se ilustra na Figura 4.10 para o P_{C3} . Os outros mapas de calor e os respectivos histogramas do débito encontram-se no Anexo B. Na Figura 4.11 apresenta-se o histograma para os planeamentos com os APs nos corredores e nos quartos respectivamente.

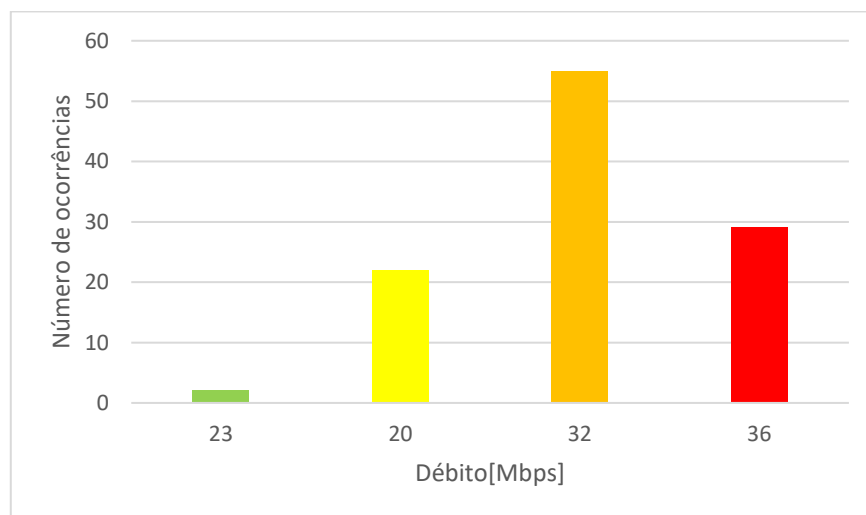


Figura 4.10 Débitos medidos em Downlink no Cenário P_{C3} usando o SpeedTest.

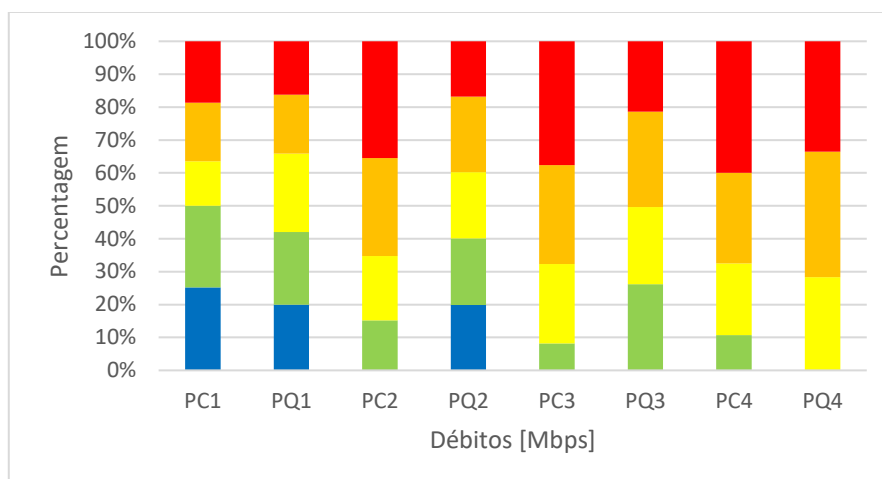


Figura 4.11 Histograma do débito para os vários planeamentos. (Legenda das cores: azul: 14 Mb/s, verde: 23 Mb/s, amarelo: 20Mb/s, laranja: 32 Mb/s, vermelho: 36 Mb/s).

Pelos resultados obtidos chega-se às seguintes conclusões: o pior planeamento é o PQ1 e os melhores são o PQ4 e o PC3 em termos de débito. Os melhores planeamentos são o PQ4 e o PC3 com um débito médio de 30 Mb/s. O planeamento existente atualmente no cenário, PC2, tem um débito de 29 Mb/s. Conclui-se que os débitos médios são muito semelhantes.

4.2.4 Análise de Consumo Energético

Nesta secção analisa-se o consumo energético para os vários planeamentos em estudo. Na Tabela 4.8 apresenta-se o consumo energético dos diversos componentes utilizados para criar a rede Wi-Fi.

Os consumos energéticos associados a cada planeamento, para o hotel inteiro, estão apresentados na Tabela 4.9. À medida que se incrementa o número de equipamentos no planeamento maior será o consumo, por outro lado, a medida que se decrementa o número de equipamento no planeamento menor será o consumo, portanto os planeamentos mais caros são o PC4 e PQ4 com cerca de 149,40 kWh/mês por sua vez os mais baratos são o PC1 e PQ1 com cerca de 52,20 kWh/mês o planeamento proposto PC3

consome mais energia 117,00 kWh/mês com relação aos 52,20 kWh/mês do planeamento existente P_{C2}

Tabela 4.8 Consumo energético por equipamento.

Equipamento	Consumo energético [W]	Consumo energético/mês [kWh/mês]
Switch 8 portas TP-Link VLAN Ready	4,50	3,24
Router Mikrotik Dual Core Gigabit	5,00	3,60
Ponto Wi-Fi Ubiquiti Unifi UAP-AC-PRO	9,00	6,48

Na Figura 4.12 ilustra-se o consumo energético total de cada planeamento. Da análise feita conclui-se, naturalmente que, quanto maior o número de equipamentos, maior será o consumo. Os planeamentos que resultam num maior consumo energético são o P_{C4} e o P_{Q4} , e os mais económicos são o P_{C1} e o P_{Q1} . Em termos percentuais o planeamento proposto P_{C3} consome 38% mais em relação ao P_{C2} existente, enquanto que o P_{Q4} consome 76% mais em relação ao P_{C2} existente.

Tabela 4.9 Análise, para o hotel inteiro, do consumo de cada um dos planeamentos em análise.

Planeamentos	Equipamento	Qtd	Consumo/mês por equipamento [kWh/mês]	Consumo Total energético/mês [kWh/mês]
PC1 e PQ1	Switch	5	16,20	52,20
	Router	1	3,60	
	AP	5	32,40	
PC2 e PQ2	Switch	5	16,20	84,60
	Router	1	3,60	
	AP	10	64,80	
PC3 e PQ3	Switch	5	16,20	117,00
	Router	1	3,60	
	AP	15	97,20	
PC4 e PQ4	Switch	5	16,20	149,40
	Router	1	3,60	
	AP	20	129,60	

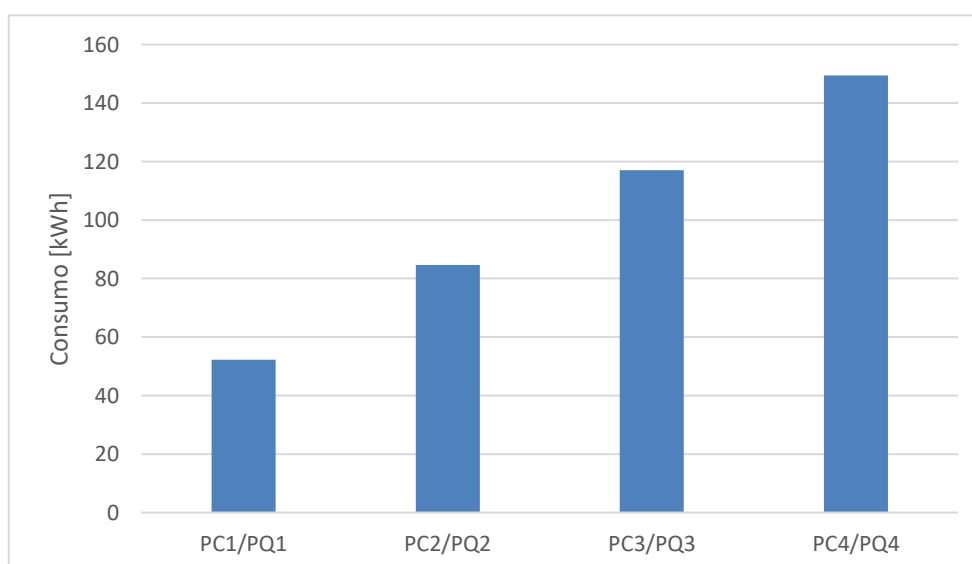


Figura 4.12 Consumo energético do hotel para os vários planeamentos.

4.2.5 Análise de Impacto Ambiental

Em termos de poluição, a produção de 1 kWh resulta na emissão de 537 g de CO₂/mês. Com base no consumo energético, quantificado na secção 4.2.4, estima-se na Tabela 4.10 o impacto ambiental dos vários planeamentos.

Tabela 4.10 Análise de impacto ambiental de cada um dos planeamentos.

Planeamento	Impacto ambiental Total [kg de CO ₂ /mês]
P _{C1} e P _{Q1}	28,03
P _{C2} e P _{Q2}	45,43
P _{C3} e P _{Q3}	62,82
P _{C4} e P _{Q4}	80,22

O impacto ambiental para os vários planeamentos em estudo está igualmente representado na Figura 4.13. Pelos resultados obtidos conclui-se naturalmente que, quanto maior o número de equipamentos maior será o impacto no ambiente. Os planeamentos que mais impacto causam no ambiente são o P_{C4} e o P_{Q4} com cerca de 80,22 kg de CO₂ por mês por terem mais equipamentos associados. Os planeamentos que menos impacto causam ao ambiente são o P_{C1} e o P_{Q1} com cerca de 20,03 kg de CO₂ por mês por terem menos equipamentos associados. Neste contexto o incremento

Capítulo 4 - Caso de Estudo

percentual do P_{C3} é 38% em relação ao P_{C2} atualmente instalado, enquanto que o incremento percentual do P_{Q4} é de 76% em relação ao P_{C2} .

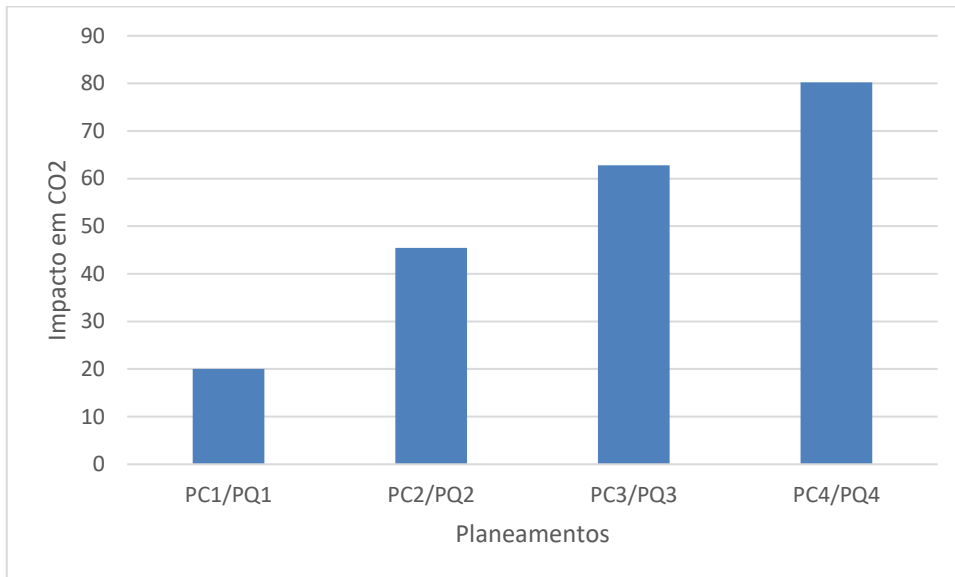


Figura 4.13 Impacto ambiental dos vários planeamentos.

4.2.6 Análise de Custo

Analisa-se o custo associado à aquisição do equipamento e instalação (CAPEX) assim como de operação (OPEX) da rede Wi-Fi no hotel inteiro, para os vários planeamentos em análise. Em termos de CAPEX, apresenta-se a descrição detalhada do planeamento P_{C3} na

Tabela 4.11, o CAPEX dos outros planeamentos encontrando-se no Anexo C. Na Figura 4.14 ilustra-se o CAPEX associado a cada um dos planeamentos, e na Tabela 4.12 uma comparação dos custos OPEX e CAPEX.

Tabela 4.11 Custo CAPEX do hotel (do total dos andares) para os planeamentos P_{C3} e P_{Q3}.

Descrição	Valor [€]	Qtd.	Total [€]
Router MKT RB/960PGS heX Gigabit	61,20	1	61,20
Ponto de Acesso Wi-Fi UAP-AC-PRO	162,50	15	2.437,50
Switch TP-Link TL-SG108E Gigabit	41,70	5	208,50
Cabo de rede CAT5e FTP Unifilar CCA (metro)	0,20	300	60,00
Material Elétrico e de Fixação	59,50	1	59,50
Instalação, teste e Configuração de equipamentos	750,00	1	750,00
Total líquido			3576,70

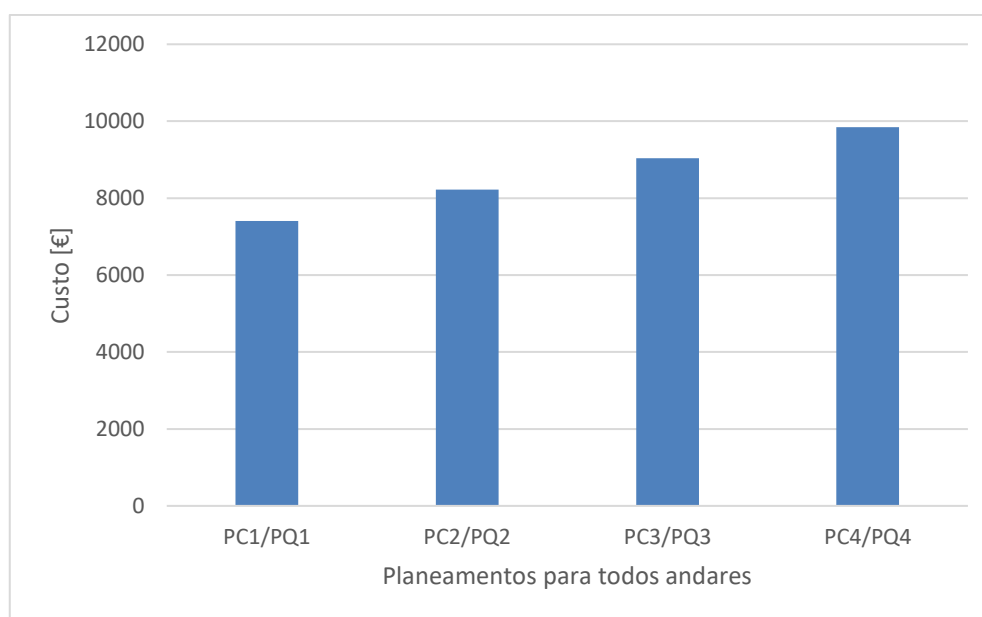


Figura 4.14 CAPEX dos vários planeamentos.

Tabela 4.12 Análise dos custos dos planeamentos em análise.

Planeamento	CAPEX [€]	OPEX [€]
P _{C1} / P _{Q1}	7.408,50	52,20
P _{C2} / P _{Q2}	8.221,00	84,60
P _{C3} / P _{Q3}	9.033,50	117,00
P _{C4} / P _{Q4}	9.846,00	149,40

Conclui-se que quanto maior o número de equipamentos maior são os custos. O planeamento P_{C3} apresenta um Capex de 9% e um OPEX de 38% superior ao do planeamento P_{C2}, enquanto que o P_{Q4} apresenta um Capex de 19% e OPEX de 76 % maior ao P_{C2}.

4.2.7 Análise Comparativa das várias Métricas

Nesta secção congregam-se os resultados das várias análises anteriormente feitas, avaliando-se a cobertura, débito médio, consumo energético, impacto ambiental e os custos CAPEX e OPEX, que se apresentam na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 Análise comparativa dos planeamentos para várias métricas.

	Cober-tura [%]	Débito médio [Mbps]	consumo energético [kWh/mês]	Impacto Ambiental [Kg de CO ₂]	CAPEX [€]	OPEX [€]
P _{C1}	50	30	52,20	28,03	7.408,50	52,20
P _{Q1}	35	31	52,20	28,03	7.408,50	52,20
P _{C2}	80	29	84,60	45,43	8.221,00	84,60
P _{Q2}	57	33	84,60	45,43	8.221,00	84,60
P _{C3}	98	30	117,00	62,82	9.033,50	117,00
P _{Q3}	92	29	117,00	62,82	9.033,50	117,00
P _{C4}	97	28	149,40	80,22	9.846,00	149,40
P _{Q4}	100	30	149,40	80,22	9.846,00	149,40

Capítulo 4 - Caso de Estudo

Faz-se uma análise comparativa final e conclui-se que o pior planeamento é o P_{Q1} e o melhor é o P_{Q4} em termo de cobertura. Quanto ao consumo energético, impacto ambiental e custos conclui-se que quanto maior o número de equipamentos, maior será o consumo, o impacto e os custos, sendo P_{C4} e o P_{Q4} os que mais energia consomem, mais impacto causam ao ambiente e têm maior custo. Ao passo que os P_{C1} e o P_{Q1} são os que menos energia consomem, menos impacto causam no ambiente e têm menor custo, mas pior cobertura tem.

No entanto, deve ser feita uma ponderação dos resultados das várias métricas para escolher o planeamento mais conveniente. O planeamento atual, P_{C2} , apresenta uma cobertura de 80%. Adicionando apenas mais um AP, com o planeamento P_{C3} , já se consegue uma cobertura de 98%, sendo que um segundo AP extra, P_{Q4} , apenas incrementa em mais 2% em relação ao P_{C3} . Assim, o planeamento P_{C3} é o mais conveniente, pois o P_{Q4} resulta num aumento de consumo energético, poluição e custos muito superiores que não se justificam. No que se refere aos débitos, P_{C3} apresenta um débito de 30Mb/s, P_{Q4} um débito de 30Mb/s ao passo que P_{C2} um débito de 29Mb/s, bastante semelhantes. No que respeita ao consumo energético, em termos percentuais, o planeamento proposto P_{C3} consome 38% mais com relação ao P_{C2} e o P_{Q4} consome 76% mais com relação ao P_{C2} . Falando de impacto ambiental neste contexto o incremento percentual do P_{C3} é 38% em relação ao P_{C2} atualmente instalado, o incremento percentual do P_{Q4} é de 76% em relação ao P_{C2} . Em relação aos custos o P_{C3} apresenta um percentual de custo Capex de 9% com relação ao P_{C2} , por outro lado o P_{Q4} apresenta um percentual de custo Capex de 19% com relação ao P_{C2} .

Escolheu-se assim o planeamento P_{C3} pois traz uma melhoria da cobertura, não compensando o P_{Q4} face ao que ganha em termos de cobertura, pois apresenta um incremento percentual de custo de 8% com relação ao P_{C3} e de 19% com relação ao P_{C2} . Assim, vale a pena o custo acrescido de 9% do P_{C3} face ao que ganha em termos de cobertura com relação ao P_{C2} .

Como solução a implementar, propõe-se o planeamento P_{C3}. Este representa uma melhoria na infraestrutura de rede já existente, reaproveita-se os equipamentos existentes e adiciona-se mais 5 APs, para aumentar a área de cobertura e a capacidade, com os APs adicionais altera-se a posição atual dos APs no hotel.

4.3 Implementação

Na recepção do hotel está instalado um bastidor, nele temos um Router e um Switch central, o Router recebe o sinal da operadora, o Switch central recebe o sinal do Router, entretanto do Switch central sai 4 cabos e distribui-se por sua vez a outros Switchs que se encontra em cada andar para interligar com os respectivos APs. Fez-se a instalação e configuração dos seguintes equipamentos:

- Configura-se o Router;
- Configura-se os Switchs: atribui-se VLAN's as portas onde conectam os respectivos equipamentos de rede;
- Configura-se os APs: com SSID's e métodos de autenticação, atribui-se as VLAN's aos SSID's;
- Passagem de cabos interior;
- Instalação de AP no interior dos vários andares;
- Criação de duas Redes (Hóspedes/ Staff);
- Criação de VLAN's permitindo isolar o tráfego privado da rede pública

Quanto aos equipamentos que serão utilizados na implementação são os que se encontram na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 Equipamentos utilizados

Equipamento	Qtd.	Zona Instalação
Switch	5	Teto
Router	1	Bastidor
AP	15	Teto
Metros de Cabos CAT5e unifilar CCA	300	Ao longo das paredes

4.4 Teste e Otimização

Para testar e validar localmente os APs distribuídos pelo hotel, utiliza-se a ferramenta Speedtest, fazendo-se igualmente testes de roaming entre APs, ou seja, a garantia de mobilidade dos clientes entre diferentes APs. Portanto recomenda-se que se façam estes testes uma vez que não foi ainda implementado a proposta do P_{C3}.

4.5 Monitorização e Gestão

Para monitorização e gestão dos equipamentos, sugere-se a utilização das seguintes ferramentas:

- UniFi Controller para monitorar os APs;
- PRTG Network Monitor para monitorar o tráfego, PC e impressoras na rede;
- UNMS para monitorizar antenas da UniFi

5 Conclusão

5.1 Conclusões Principais

Uma vez que estamos na “era digital”, torna-se difícil ou mesmo impossível, em determinadas situações da vida, vivermos sem o uso das redes sem fio (WLAN). Logicamente, este projeto é uma prova da evolução que o mundo atravessa no que diz respeito a comunicação sem fio.

No levantamento, concluiu-se fazendo menção ao levantamento de medidas. A partir dela, foram selecionadas as ferramentas utilizadas na implementação do projecto apresentado e através dos quais foi possível fazer-se a construção dos gráficos de nível do sinal e do débito. A seguir, as ferramentas utilizadas foram nomeadamente o Xirrus Wi-Fi Design para criar-se os mapas de calor, o Speedtest para testar o nível do sinal mostrando os valores DL e UL, e o Excel para criar-se os gráficos.

O desenho, obviamente, é uma etapa importante onde, para cada um dos planeamentos possíveis, faz-se os mapas de calor, analisa-se e avalia-se os resultados do desempenho de acordo com várias métricas, sine qua non abaixo discriminados

Em termos de percentagem de área com nível acima dos -60 dBm aferi-se os seguintes resultados em termos percentuais para cada planeamento, P_{C1} com 50%, P_{Q1} com 35%, P_{C2} com 80%, P_{Q2} com 57%, P_{C3} com 98%, P_{Q3} com 92%, P_{C4} com 97% e P_{Q4} com 100%, respectivamente.

Para os débitos aferi-se os seguintes resultados para cada planeamento, P_{C1} com 29,6 Mb/s, P_{Q1} com 31,4 Mb/s, P_{C2} com 28,9 Mb/s, P_{Q2} com 32,8 Mb/s, P_{C3} com 29,9 Mb/s, P_{Q3} com 32,1 Mb/s, P_{C4} com 27,7 Mb/s, P_{Q4} com 33 Mb/s.

Capítulo 5 - Conclusão

Falando em consumo energético em termos percentuais o planeamento proposto P_{C3} consome 38% mais com relação ao P_{C2} e o P_{Q4} consome 76% mais com relação ao P_{C2} existente.

Os planeamentos que mais impacto causam no ambiente são o P_{C4} e o P_{Q4} com cerca de 80,22 kg de CO_2 por mês por terem mais equipamentos associados e os que menos impacto causam ao ambiente são o P_{C1} e o P_{Q1} com cerca de 20,03 kg de CO_2 por mês por terem menos equipamentos associados, o planeamento existente P_{C2} tem um impacto com cerca de 45,43 kg de CO_2 por mês e o planeamento proposto P_{C3} tem um impacto com cerca de 62,82 kg de CO_2 por mês. Neste contexto o incremento percentual do P_{C3} é 38% em relação ao P_{C2} , o incremento percentual do P_{Q4} é de 76% em relação ao P_{C2} .

Em termos de custo, conclui-se que quanto maior o número de equipamentos maior são os custos. O P_{C3} apresenta um percentual de custo Capex de 9% maior com relação ao P_{C2} , por outro lado o P_{Q4} apresenta um percentual de custo Capex de 19% maior com relação ao P_{C2} .

Pode haver vários critérios para a escolha ou seleção de um planeamento, este método permite fazer uma escolha consoante uma combinação de critérios que podem ser customizáveis, de acordo com o cliente.

Por esta razão propôs-se uma alteração ao planeamento da rede existente que melhora a percentagem de área com nível acima dos -60 dBm em 98% com relação aos 80% da rede existente e incrementa o débito médio de 30 Mb/s com relação aos 29 Mb/s da rede existente. Por outro lado, propôs-se o planeamento P_{C3} por ser uma rede intermédia não muito caro em termos de custo e nem tão poluente.

5.2 Trabalho Futuro

Para o bom funcionamento do projeto proposto, e com vista a poder contribuir significativamente para a melhoria do desenho e implementação de solução de redes Wi-Fi para a indústria hoteleira, sugere-se:

- Desenhar a versão final do projeto, quando possível, com o intuito de se corrigirem eventuais insuficiências que possam surgir;
- Fazer a Monitorarização e gestão do projeto através de um plano diário, semanal ou mensal, dependendo do Administrador;
- Atualizar continuamente os funcionários quanto ao uso das redes sem fio implementado no hotel;
- Criar condições materiais, humanas e consciencializar os hospedes da importância desse projeto para a melhoria dos serviços de atendimento.

Referências

- [1] B. A. Forouzan, *Comunicacao de Dados e Redes de Computadores*, 3ª Edição. São Paulo, 2006.
- [2] G. Torres, *Redes de Computadores-Curso Completo*. Rio de Janeiro - RJ: Axcel, 2009.
- [3] L. O. Duarte, “Análise de Vulnerabilidades e Ataques Inerentes a Redes Sem Fio 802.11x,” *Monogr. Grad. Inst. Biocências, Let. e Ciências Exatas São José do Rio Preto, São Paulo, Bras.* 2003, pp. 1-55, 2003.
- [4] IEEE Computer Society Sponsored, “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications IEEE Computer Society,” *Control*, vol. 2007, no. June, p. 3534, 2007.
- [5] RABBIT, “An Introduction to Wi-Fi,” *Digi Int. corp, USA*, pp. 1-74, 2008.
- [6] A. D. Rivera, “Redes de equipamentos sem fio de uso pessoal: comparação de tecnologias emergentes e análise de tendências,” *Teses.Usp.Br*, p. 115, 2010.
- [7] W. Local and A. Networks, “WLAN Factsheet,” p. 20, 2017.
- [8] J. Networks, “Coverage or Capacity – Making the Best Meeting the Need for High Performance and Ubiquitous Coverage with the Proliferation of,” pp. 1-18, 2011.
- [9] L. A. C. H. J. Bulhman, “Redes LAN / MAN Wireless II: Funcionamento do Padrão 802.11.” [Online]. Available: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwlanman2/default.asp>. [Accessed: 13-Jan-2018].

- [10] M. da Silva, “Alocação de Canal em Redes Sem Fio IEEE 802.11 Independentes,” p. 83, 2006.
- [11] J. M. S. Pinheiro, “Switches em Redes Locais de Computadores.” [Online]. Available: https://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo_switches_em_redes_locais.php. [Accessed: 22-Aug-2018].
- [12] J. M. S. Pinheiro, “PROJETO DE REDES.” [Online]. Available: http://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo_por_falar_em_rotadores.php. [Accessed: 22-Aug-2018].
- [13] V. de L. D. B. Orientador:, “SOFTWARE LIVRE PARA WIRELESS SITE SURVEY,” 2017. [Online]. Available: <https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2017/PublicacoesTCCs/Biblioteca/CienciadaComputacao/Monografia---Vinicius-Duarte---Ciencia-da-Computacao.pdf>. [Accessed: 21-Aug-2018].
- [14] E. S. Survey, E. M. Survey, and E. L. Survey, “Ekahau Site Survey,” p. 121, 2012.
- [15] Xirrus, “Xirrus Wi-Fi Designer,” p. 3, 2013.
- [16] NetSpot, “Pesquisar redes WiFi, Análise, Resolução de Problemas,” 2018. [Online]. Available: <https://www.netspotapp.com/pt/>. [Accessed: 21-Aug-2018].
- [17] Ookla, “Speedtest.” [Online]. Available: <http://www.speedtest.net>. [Accessed: 21-Aug-2018].
- [18] Apple Inc, “Dr. Wi-Fi,” 2018. [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/pt/app/dr-wifi-speed-signal-test/id1188167907?mt=8>. [Accessed: 21-Aug-2018].
- [19] Google, “WiFi Monitor - analyzer of Wi-Fi networks,” 2018. [Online].

Available:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.signalmonitoring.wifimonitoring&hl=en_US. [Accessed: 21-Aug-2018].

- [20] Ubiquiti, “Table of Contents.” [Online]. Available: https://dl.ubnt.com/guides/UniFi/UniFi_Controller_V3_UG.pdf. [Accessed: 28-Sep-2018].
- [21] I. Software Advice™, “PRTG Network Monitor.” [Online]. Available: <https://www.softwareadvice.com/network-monitoring/prtg-network-monitor-profile/>. [Accessed: 28-Sep-2018].
- [22] UBNT-Diego, “Conhecendo o Software Gratuito de Gestão de Redes/Dispositivos: UNMS.” [Online]. Available: <https://forum-pt.ubnt.com/discussion/1342373/conhecendo-o-software-gratuito-de-gestao-de-redes-dispositivos-unms>. [Accessed: 28-Sep-2018].
- [23] U. E. Paulista, L. I. O. D. E. M. Filho, and A. D. E. Inform, “Relatório Técnico sobre Redes Sem Fio,” pp. 1-17, 2008.
- [24] MetaGeek, “Understanding RSSI,” 2018. [Online]. Available: <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>. [Accessed: 03-Oct-2018].
- [25] C. Energy, “How to calculate your CO2 Emissions,” 2015. [Online]. Available: <https://www.coronaenergy.co.uk/how-to-calculate-co2-emissions/>. [Accessed: 28-Sep-2018].

Anexo A- Levantamento

Plantas baixas dos vários andares do Hotel Tagus Palace.

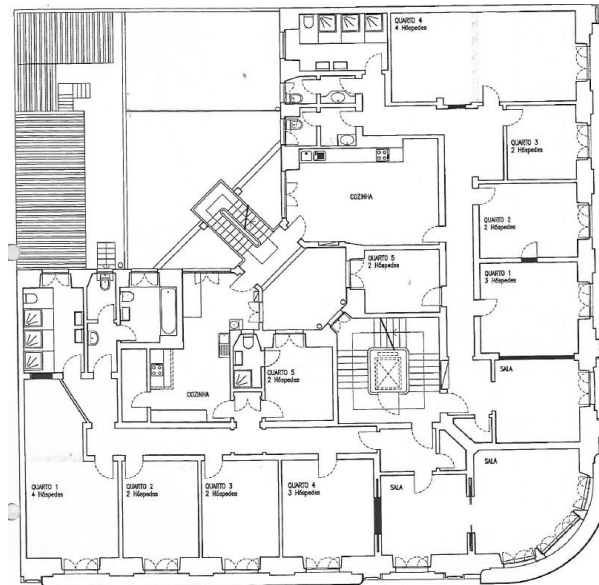


Figura A.1 Andar 1 do Hotel Tagus Palace.

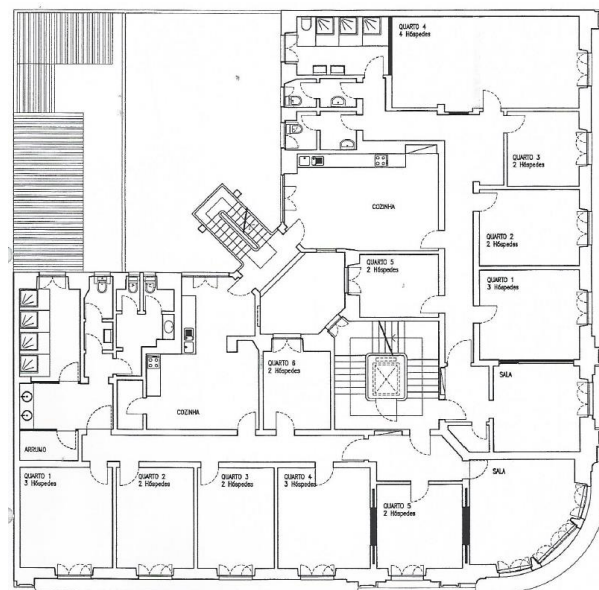


Figura A.2 Andar 2 do Hotel Tagus Palace.

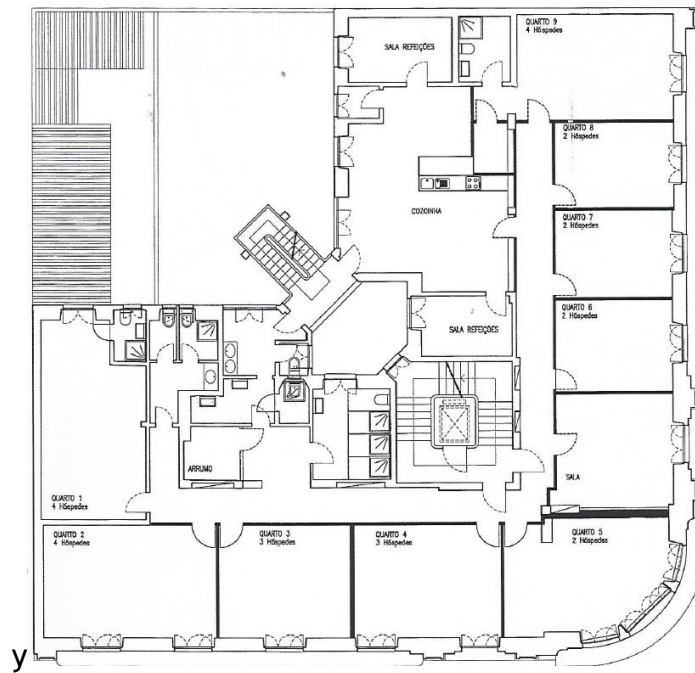


Figura A.3 Andar 3 do Hotel Tagus Palace.

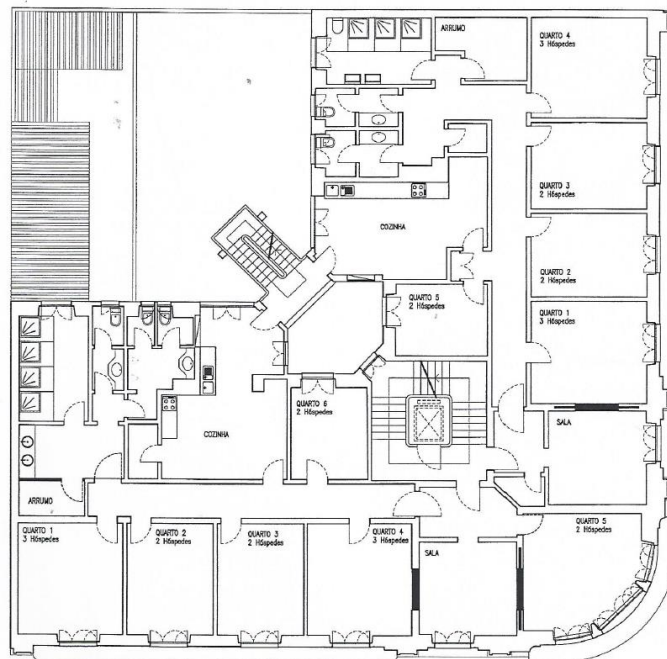


Figura A.4 Andar 4 do Hotel Tagus Palace.

Anexo A - Levantamento

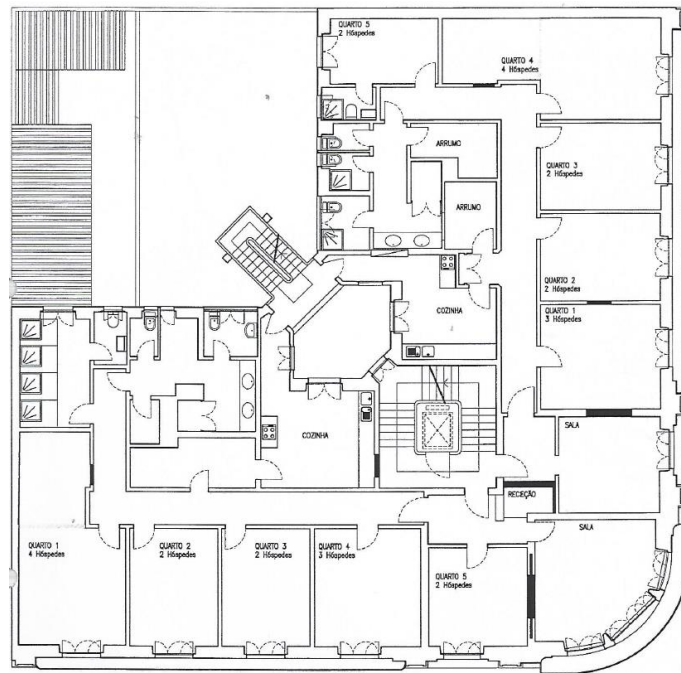


Figura A.5 Andar 5 do Hotel Tagus Palace.

Anexo B-Desenho

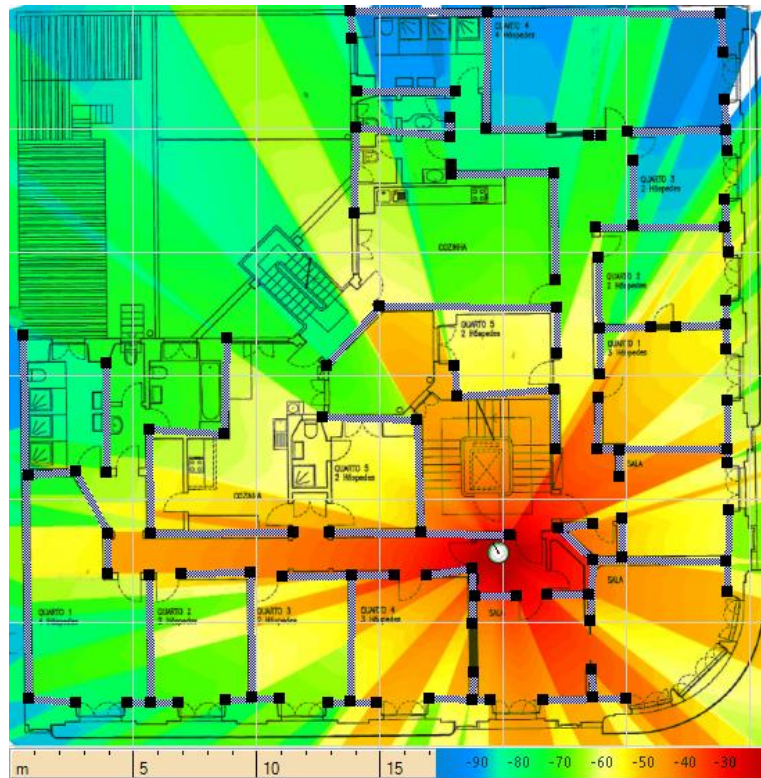


Figura B.1 Cenário P_{C1} , com um AP no corredor.

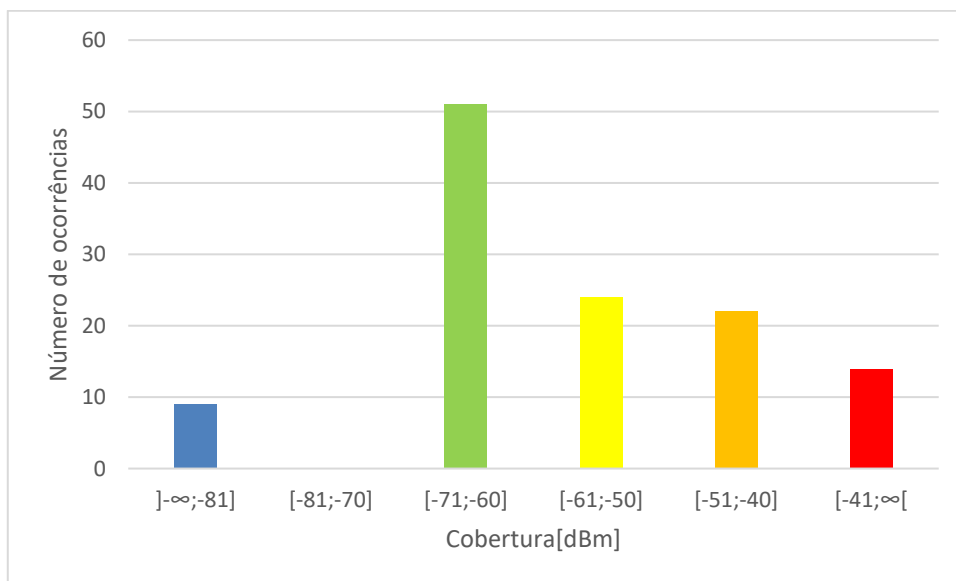


Figura B.2 Cobertura no Cenário P_{C1} .

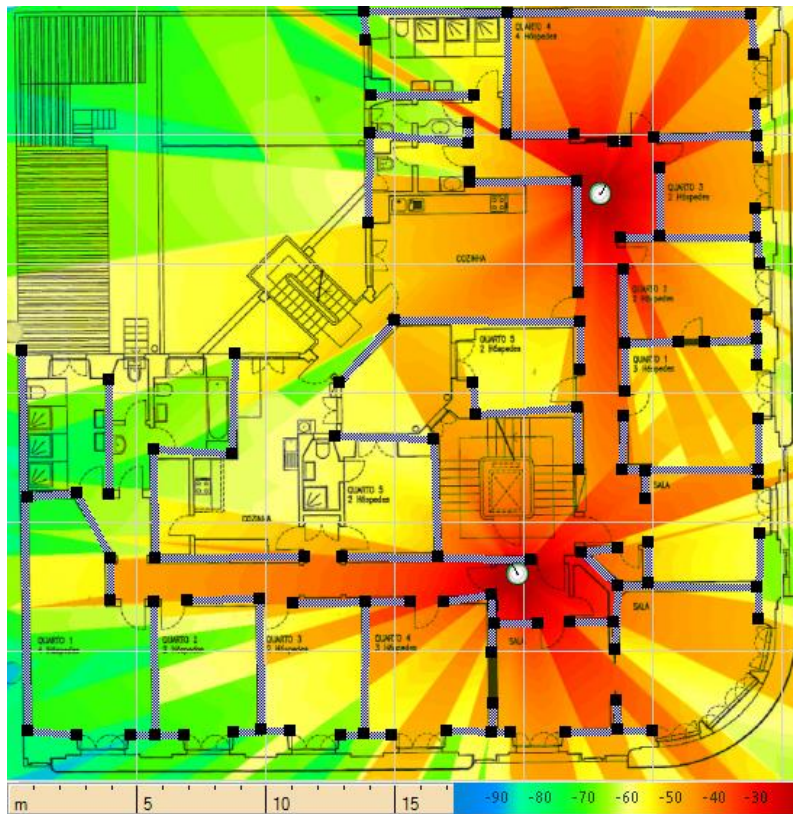


Figura B.3 Cenário P_{c2}, com dois APs no corredor.

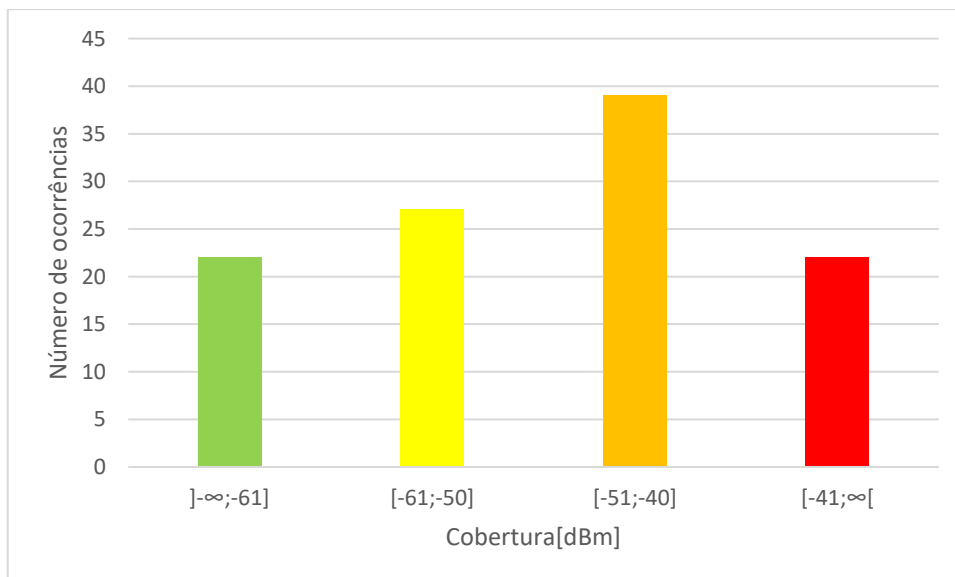


Figura B.4 Cobertura no Cenário P_{c2}.

Anexo B - Desenho

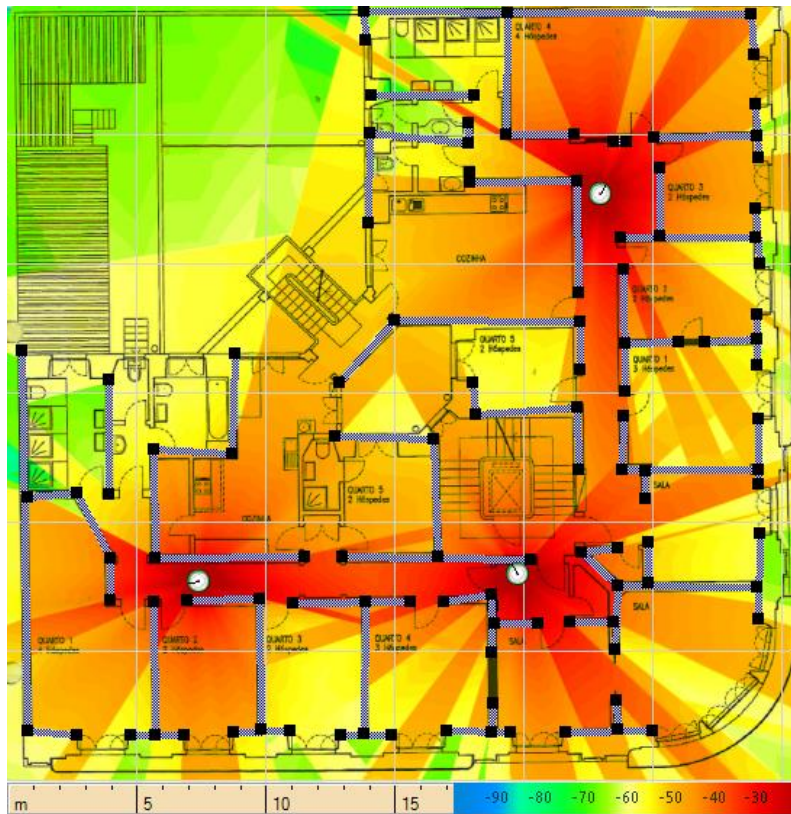


Figura B.5 Cenário Pc3, com três APs no corredor.

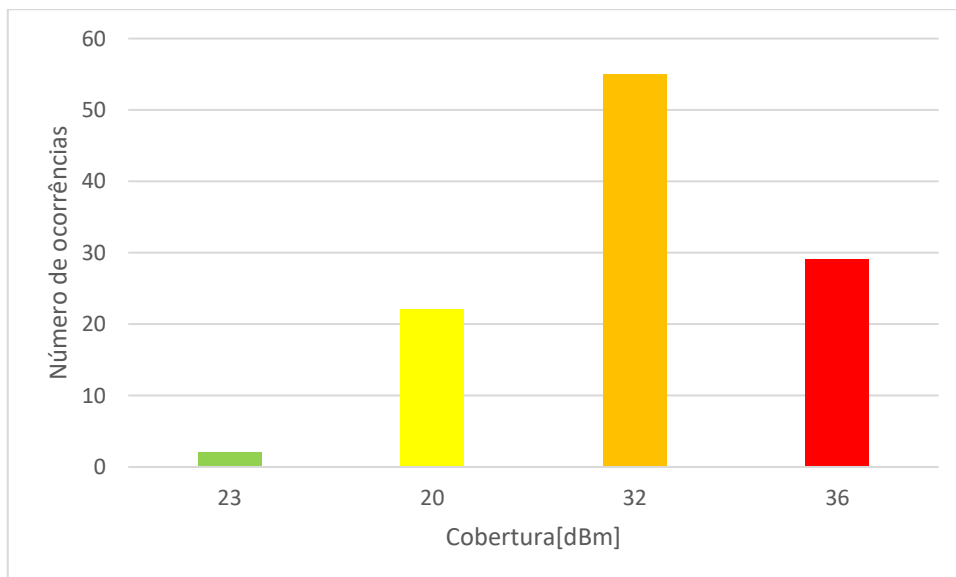


Figura B.6 Cobertura no Cenário Pc3.



Figura B.7 Cenário P_{c4} , com quatro APs no corredor.

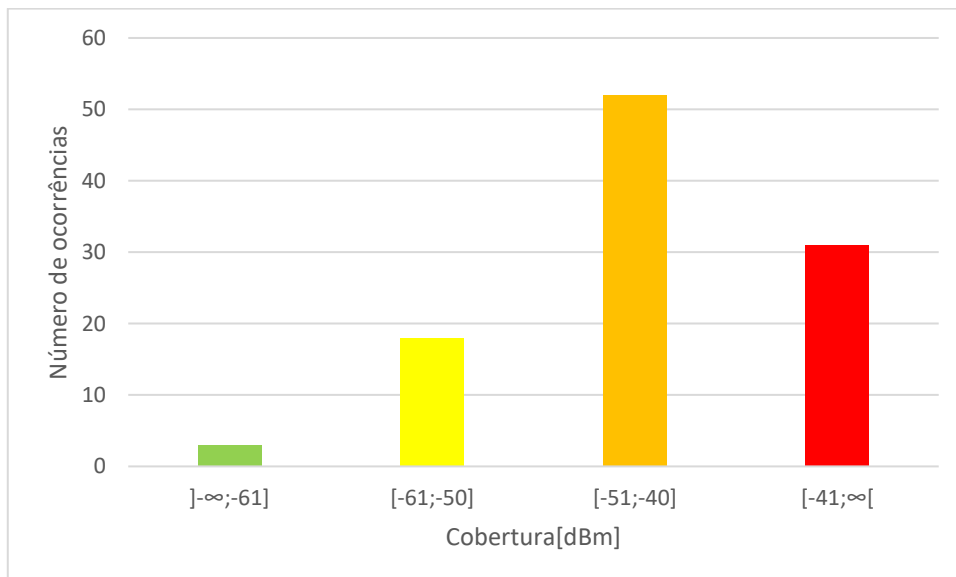


Figura B.8 Cobertura no Cenário P_{c4} .

Anexo B - Desenho

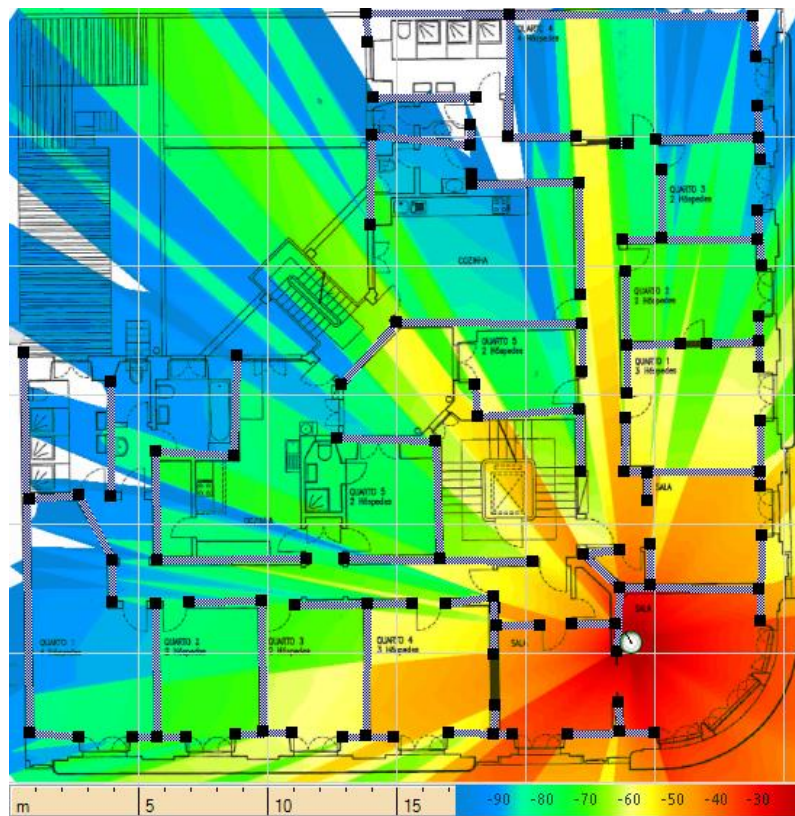


Figura B.9 Cenário P_{Q1} , com um AP no quarto.

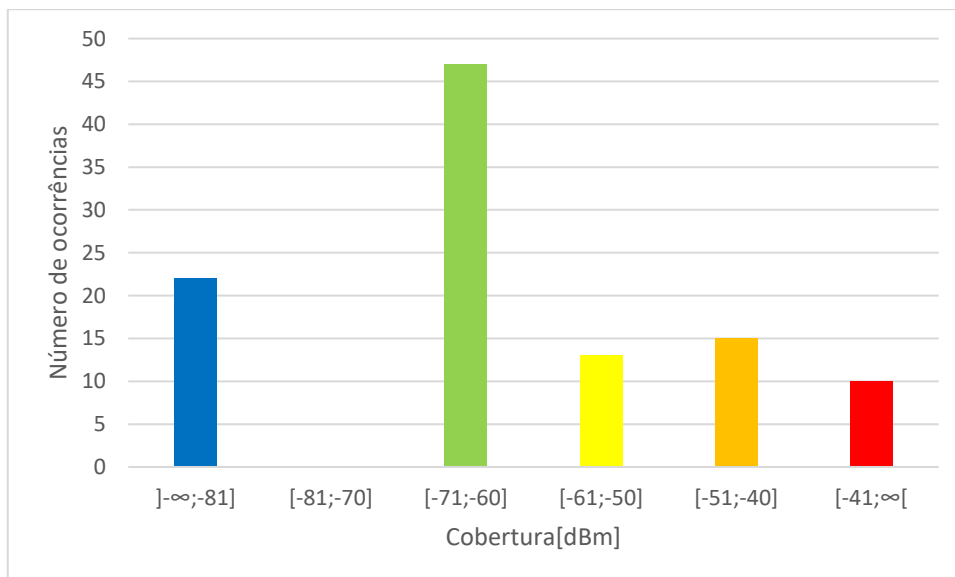


Figura B.10 Cobertura no Cenário P_{Q1} .

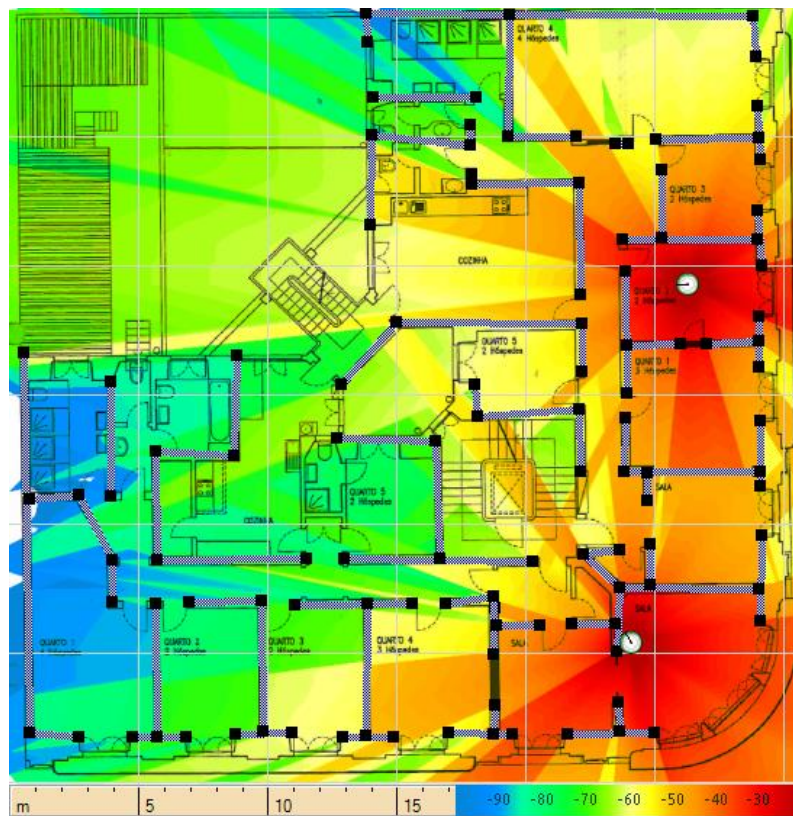


Figura B.11 Cenário P₀₂, com dois APs no quarto.

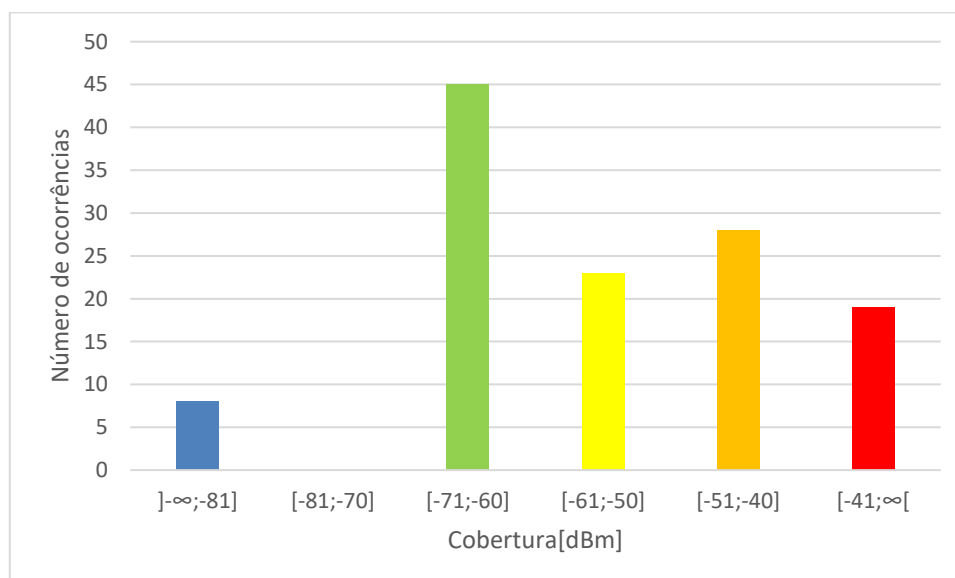


Figura B.12 Cobertura no Cenário P₀₂.

Anexo B - Desenho

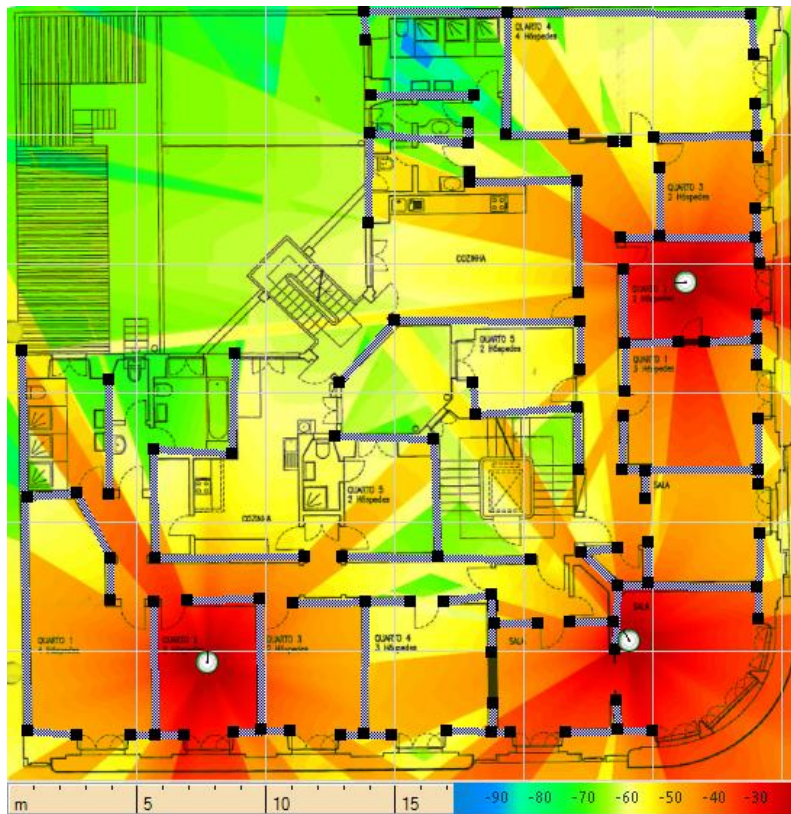


Figura B.13 Cenário P₀₃, com três APs no quarto.

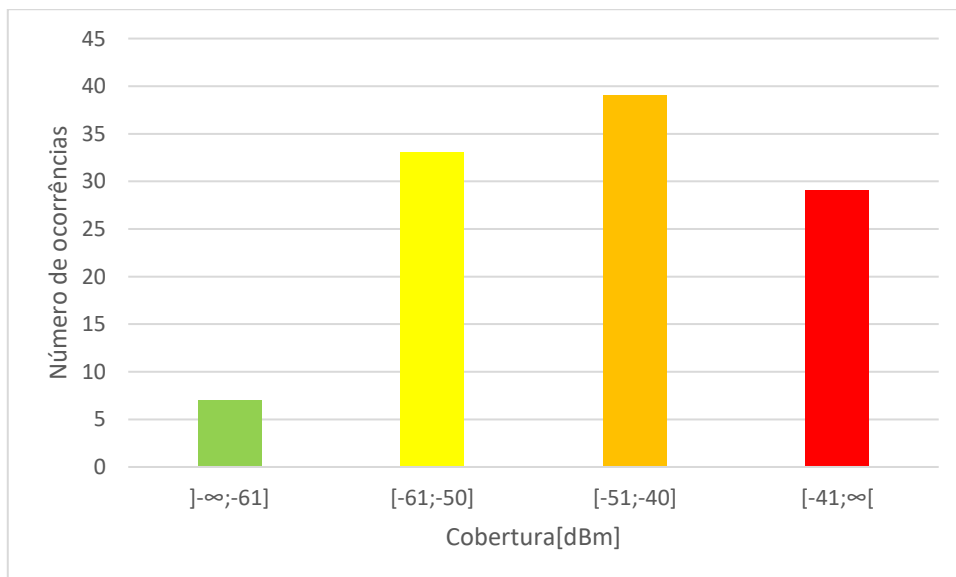


Figura B.14 Cobertura no Cenário P₀₃.



Figura B.15 Cenário P_{Q4}, com quatro APs no quarto.

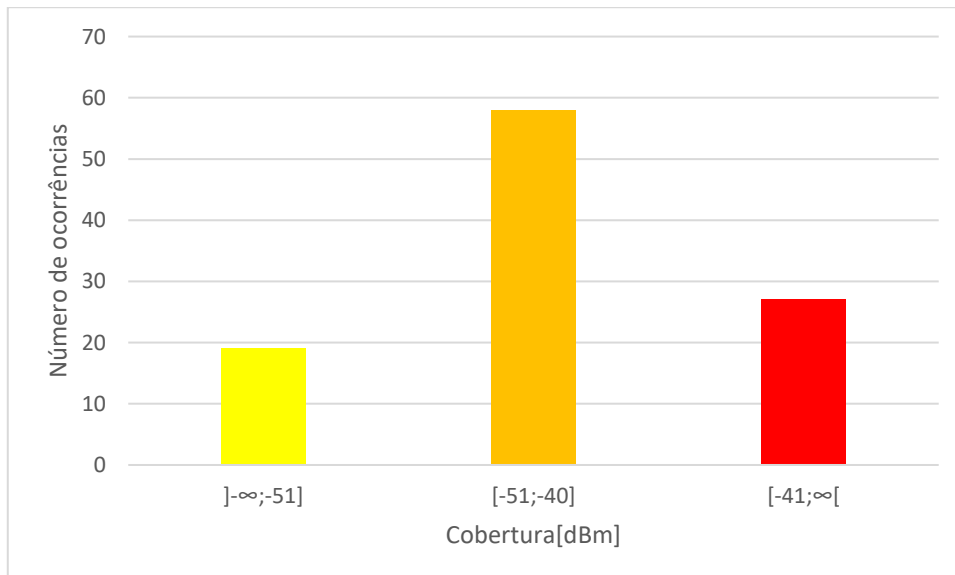


Figura B.16 Cobertura no Cenário P_{Q4}.

Anexo B - Desenho

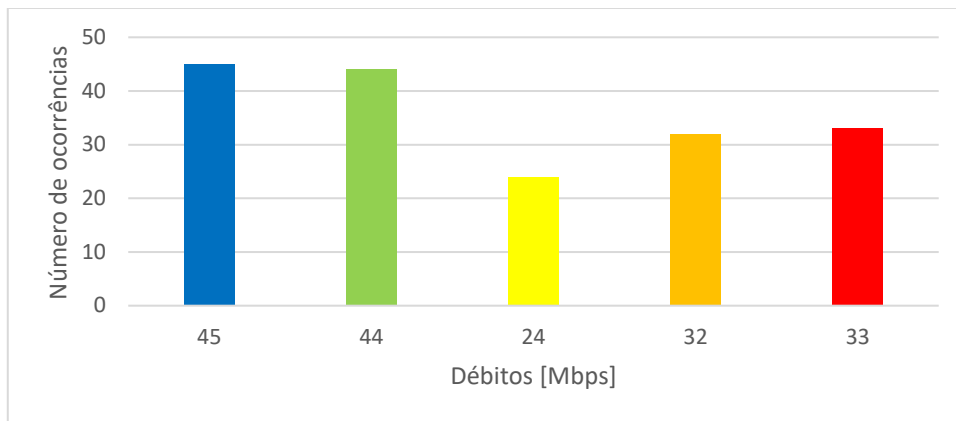


Figura B.17 Débitos medidos no Cenário P_{C1} usando o SpeedTest.

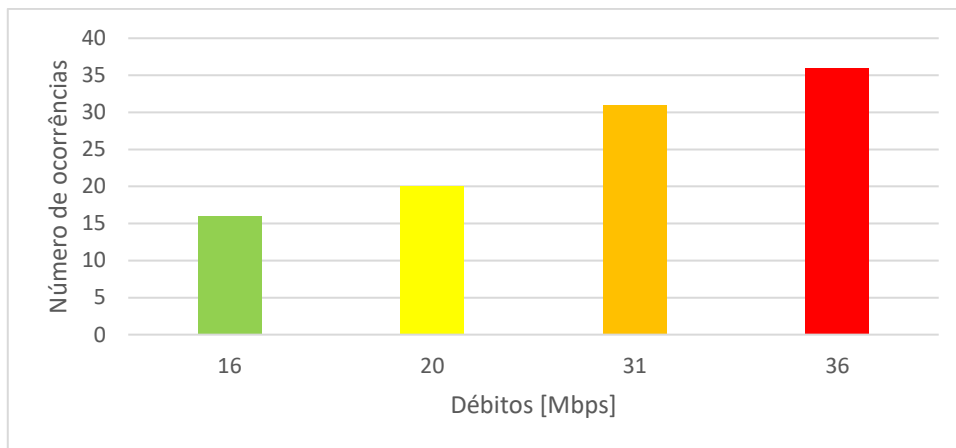


Figura B.18 Débitos medidos no Cenário P_{C2} usando o SpeedTest.

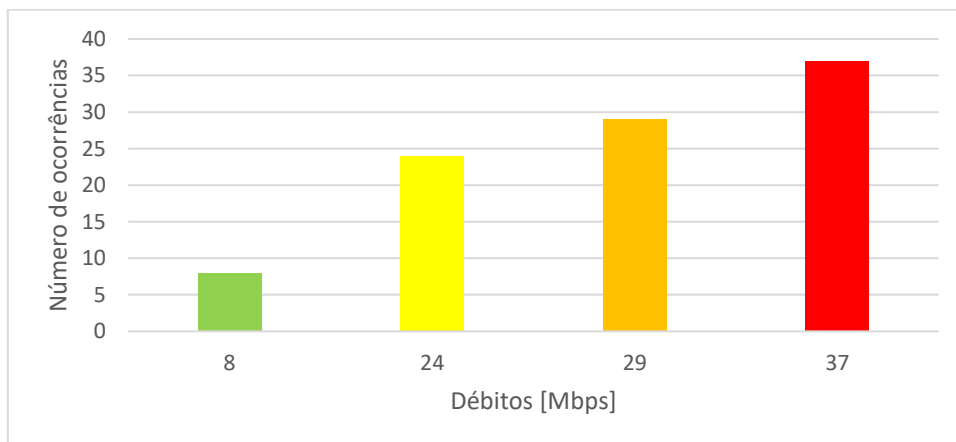


Figura B.19 Débitos medidos no Cenário P_{C3} usando o SpeedTest.

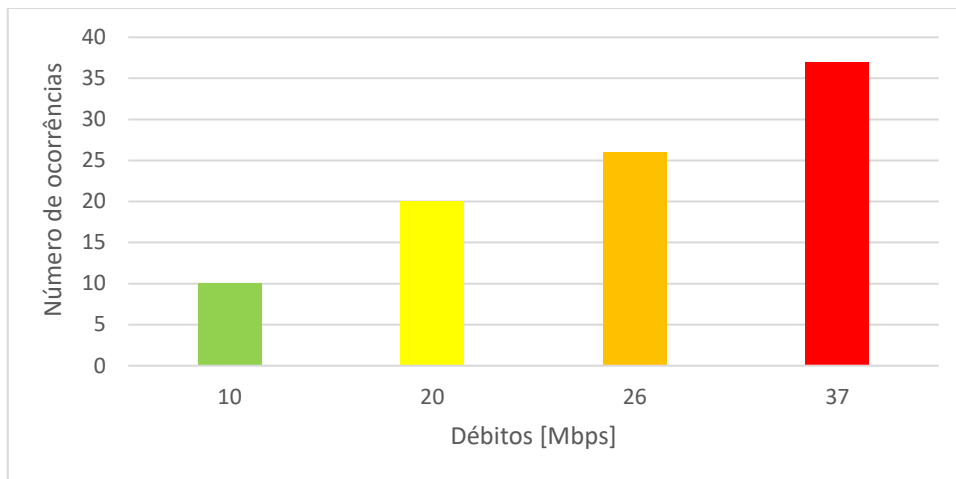


Figura B.20 Débitos medidos no Cenário P_{C4} usando o SpeedTest.

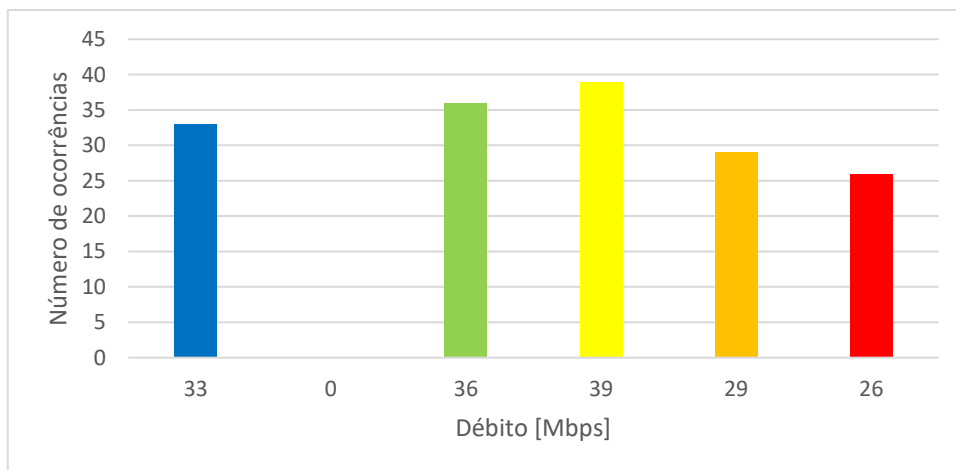


Figura B.21 Débitos medidos no Cenário P_{Q1} usando o SpeedTest.

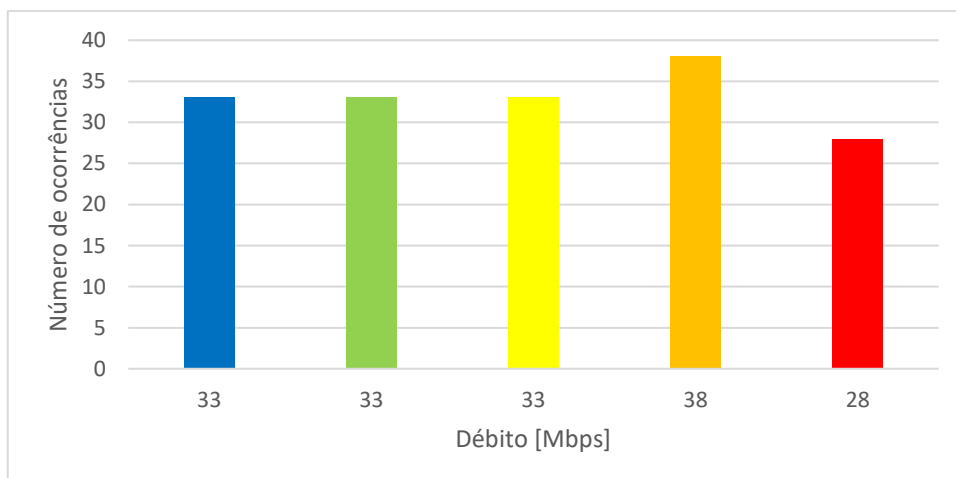


Figura B.22 Débitos medidos no Cenário P_{Q2} usando o SpeedTest.

Anexo B - Desenho

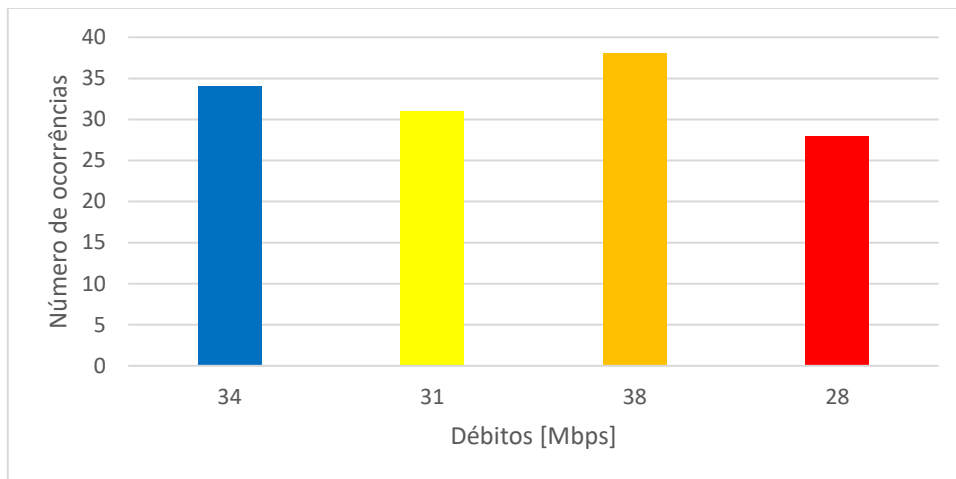


Figura B.23 Débitos medidos no Cenário P_{Q3} usando o SpeedTest.

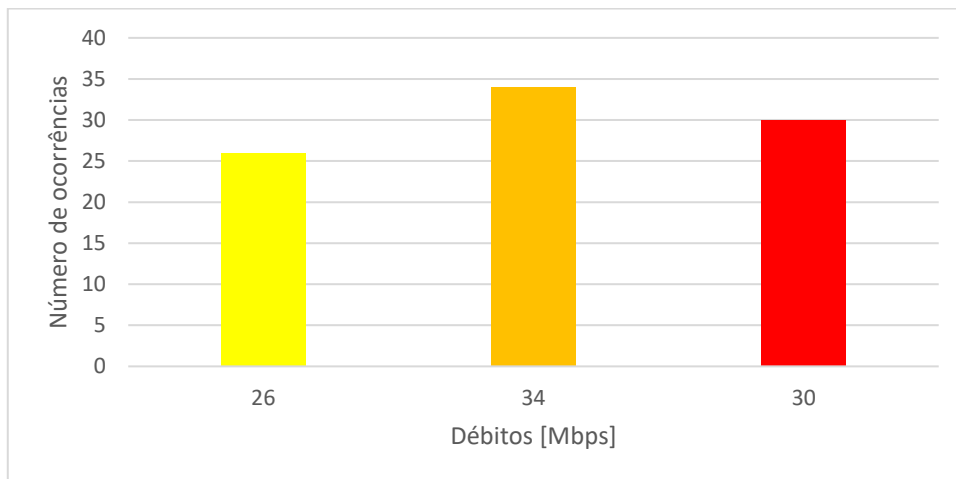


Figura B.24 Débitos medidos no Cenário P_{Q4} usando o SpeedTest.

Anexo C-Custos

Tabela C.1 Custo dos planeamentos P_{C1} e P_{Q1}

#	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (€)	Total(€)
1	Router MKT RB/960PGS heX Gigabit	1	61,20	61,20
2	Ponto de Acesso Wi-Fi UAP-AC-PRO	1	162,50	162,50
3	Switch TP-Link TL-SG108E Gigabit	1	41,70	41,70
4	Cabo de rede CAT5e FTP Unifilar CCA (metro)	34	0,20	6,80
5	Material Elétrico e de Fixação	1	59,50	59,50
6	Instalação, teste e Configuração de equipamentos	1	750,00	750,00
Total líquido				1 131,70

Tabela C.2 Custo dos planejamentos P_{C2} e P_{Q2}

#	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (€)	Total(€)
1	Router MKT RB/960PGS heX Gigabit	1	61,20	61,20
2	Ponto de Acesso Wi-Fi UAP-AC-PRO	2	162,50	325,00
3	Switch TP-Link TL-SG108E Gigabit	1	41,70	41,70
4	Cabo de rede CAT5e FTP Unifilar CCA (metro)	34	0,20	6,80
5	Material Elétrico e de Fixação	1	59,50	59,50
6	Instalação, teste e Configuração de equipamentos	1	750,00	750,00
Total líquido				1 294,20

Anexo C - Custos

Tabela C.3 Custo dos planeamentos P_{C3} e P_{Q3}

#	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (€)	Total(€)
1	Router MKT RB/960PGS heX Gigabit	1	61,20	61,20
2	Ponto de Acesso Wi-Fi UAP-AC-PRO	3	162,50	487,50
3	Switch TP-Link TL-SG108E Gigabit	1	41,70	41,70
4	Cabo de rede CAT5e FTP Unifilar CCA (metro)	34	0,20	6,80
5	Material Elétrico e de Fixação	1	59,50	59,50
6	Instalação, teste e Configuração de equipamentos	1	750,00	750,00
Total líquido				1 456,70

Tabela C.4 Custo dos planeamentos P_{C4} e P_{Q4}

#	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (€)	Total(€)
1	Router MKT RB/960PGS heX Gigabit	1	61,20(61,20
2	Ponto de Acesso Wi-Fi UAP-AC-PRO	4	162,50	650,00
3	Switch TP-Link TL-SG108E Gigabit	1	41,70	41,70
4	Cabo de rede CAT5e FTP Unifilar CCA (metro)	34	0,20	6,80
5	Material Elétrico e de Fixação	1	59,50	59,50
6	Instalação, teste e Configuração de equipamentos	1	750,00	750,00
Total líquido				1 619,20