



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

**Avaliação das Tecnologias ClientMatch e dos padrões
IEEE 802.11k e 802.11r no Suporte a Mobilidade e
Tráfego de Tempo Real em Redes WLAN**

Claudio Xavier de Oliveira

Dissertação apresentada como requisito parcial para conclusão do
Mestrado Profissional em Computação Aplicada

Orientador
Prof. Dr. Jacir Luiz Bordim

Brasília
2015

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

OOL48a Oliveira, Claudio Xavier de
Avaliação das Tecnologias ClientMatch e dos
padrões IEEE 802.11k e 802.11r no Suporte a
Mobilidade e Tráfego de Tempo Real em Redes WLAN /
Claudio Xavier de Oliveira; orientador Jacir Luiz
Bordim. -- Brasília, 2015.
131 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em
Computação Aplicada) -- Universidade de Brasília, 2015.

1. WLAN Corporativa. 2. Voz sobre IP. 3.
ClientMatch. 4. Padrões IEEE 802.11. I. Bordim,
Jacir Luiz, orient. II. Título.

Dedicatória

Este trabalho é dedicado a minha família, por tudo o que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela ajuda espiritual nos momentos mais difíceis encontrados na realização deste trabalho. A minha família, pelo apoio, carinho e compreensão. Ao amigo professor orientador Dr. Jacir L. Bordim pelo o apoio, respeito e por ter me orientado de forma tão competente e profissional, harmonizando-se com minhas características e sempre presente quando necessário. Agradecimentos ao Prof. Dr. Marcelo Ladeira pelo aprendizado profissional e ético transmitido, aos amigos Domingos Pereira, Jackson Freitas, Alex Fidelis, Juvenal Barreto, Renata Lira, Ilmara Bastos, Fernando Britto, Daniel Guedes, Hiro Shibata, Lucas Rodrigues e a todos do setor de redes/telefonia da UnB que torceram pela minha conquista.

Resumo

Nos últimos anos, temos observado um crescimento de uso e evolução das redes padrão IEEE 802.11. Atualmente, a Universidade de Brasília conta com uma infraestrutura de WLAN (do Inglês, *Wireless Local Area Network*) para atender os usuários de seus *campi*. Por meio dessa infraestrutura, a Universidade vem buscando alternativas para melhor atender a seus usuários, preferencialmente sem custos adicionais. Uma das alternativas é a implantação do serviço de voz sobre a rede sem fio da Instituição, em que os usuários utilizarão seus dispositivos móveis na comunicação, dispondo da facilidade de mobilidade. Ao se utilizar serviços de voz sobre redes sem fio, é necessário que parâmetros como atraso, variação de atraso e perda de pacotes estejam de acordo com recomendações para uma boa qualidade nas chamadas telefônicas. Além disso, prover mobilidade em redes padrão IEEE 802.11 envolve a transição do usuário móvel entre pontos de acesso, sendo um dos fatores de degradação da qualidade auditiva da voz. A solução de rede sem fio da UnB dispõe de tecnologias, como *ClientMatch* e os padrões IEEE 802.11k e 802.11r, que auxiliam o usuário móvel no processo de transição. Nesse contexto, o trabalho em questão buscou avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte à mobilidade e tráfego de voz, aferindo a qualidade auditiva da voz e o desempenho dos principais parâmetros de QoS (do Inglês, *Quality of Service*) em uma rede VoIP (do Inglês, *Voice over IP*). Mediante os experimentos realizados foi possível verificar que a tecnologia *ClientMatch – Sticky Client* não está voltada para suporte a mobilidade, apresentando baixo índice de atuação. As tecnologias IEEE 802.11k e 802.11r não produziram os resultados esperados nas avaliações realizadas. Mesmo com baixos índices de atuação da tecnologia *ClientMatch – Sticky Client* e resultados inesperados das soluções 802.11k e 802.11r, a rede WLAN da UnB permite um bom desempenho para o tráfego de voz mediante mobilidade, com níveis aceitáveis de qualidade da voz, devendo-se atentar para o processo de transição entre pontos de acesso, *ClientMatch – Band Steering* e o distanciamento entre os pontos de acesso. Além dos experimentos que buscaram avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte à mobilidade e tráfego de voz, foram realizados testes com CODECs (do Inglês, *Coder–Decoder*) mediante mobilidade do cliente móvel. O codificador–decodificador G711 foi o

que apresentou melhores resultados nos experimentos executados com relação a qualidade auditiva da voz.

Palavras-chave: *WLAN corporativa, Voz sobre IP, ClientMatch, Padrões IEEE 802.11*

Abstract

In recent years, we have observed an increase of use and evolution of the IEEE 802.11 based-networks. Currently, the University of Brasília (UnB) owns and operate a WLAN (Wireless Local Area Network) infrastructure to serve users of its campuses. Through this infrastructure, UnB is seeking alternatives to better serve its users, preferably without increasing its costs. An alternative is the implementation of voice over the wireless network of the Institution, where users utilize their mobile devices for communication while providing mobility. When using voice over wireless networks, parameters such as delay, delay variation and packet loss must comply with the recommendations for reasonable phone calls quality. Furthermore, providing mobility in IEEE 802.11 networks involves the transition of the mobile user between access points and this very process is one of the key factors of voice quality degradation. The UNB wireless networking solution encompasses technologies such as ClientMatch, IEEE 802.11r and 802.11k standards that assist the mobile user in the transition process. In this context, this work evaluates the impact of the ClientMatch technology, IEEE 802.11r and 802.11k standards in supporting mobility and voice traffic, while evaluating the audio quality, performance of the main QoS (Quality of Service) parameters in a VoIP network (Voice over IP). The conducted experiments showed that the ClientMatch – Sticky Client technology is not tailored for mobility support, presenting low rate of action, while the IEEE 802.11r and 802.11k technologies have not produced the expected results. Even with the low rates of operation of ClientMatch – Sticky Client technology and unexpected results of the solutions 802.11k and 802.11r, the UnB WLAN infrastructure provided good performance for voice traffic, even under moderate mobility, attaining acceptable levels of voice quality; nevertheless, the process of transition between access points, ClientMatch – Band Steering and the distance between access points may impact in the results. In addition to the experiments that seek to evaluate the impact of technology ClientMatch and IEEE 802.11r and 802.11k standards in supporting mobility and voice traffic, tests were performed with CODECs (Coder - Decoder) by mobility of mobile client. The encoder – decoder G711 showed the best results in the experiments performed with respect to the voice quality.

Keywords: *Corporate WLAN, Voice over IP, ClientMatch, IEEE 802.11 Standards*

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia	3
1.4	Contribuição Esperada	4
1.5	Estrutura do Trabalho	4
2	Redes sem Fio	5
2.1	Classificação das Redes sem Fio	5
2.2	Redes Locais sem Fio – WLAN	6
2.2.1	Padrões IEEE 802.11	8
2.2.2	Mobilidade	9
2.2.3	Autenticação	11
2.3	IEEE 802.11k	13
2.4	IEEE 802.11r	14
2.5	Resumo Conclusivo	18
3	Voz sobre IP	20
3.1	Tecnologia VoIP	20
3.1.1	CODECs	23
3.1.2	Protocolos VoIP	26
3.1.3	Fatores que Impactam na Qualidade de Serviço em VoIP	30
3.2	Métodos de Avaliação da Qualidade Auditiva da Voz	32
3.2.1	Método Subjetivo	32
3.2.2	Método Objetivo	33
3.3	Desafios do Serviço de Voz sobre WiFi – VoWiFi	34
3.4	Resumo Conclusivo	35
4	Estado da Arte	36
4.1	Avaliações de <i>Handover</i> em WLAN	36

4.2	Avaliações dos Padrões IEEE 802.11r e 802.11k	41
4.3	Discussão dos Trabalhos	43
4.4	Resumo Conclusivo	44
5	Rede Corporativa Integrada da UnB	45
5.1	Rede de Comunicação da UnB	45
5.2	Rede WLAN da UnB	48
5.2.1	<i>ClientMatch</i>	49
5.2.2	Ferramentas de Gerência	53
5.3	UnBVoIP	54
5.4	Cenários de Avaliação	57
5.4.1	Ambientes de Teste e Avaliação	62
5.4.2	Ferramentas Utilizadas	63
5.5	Resumo Conclusivo	65
6	Experimentos e Análise dos Resultados	66
6.1	Experimentos Realizados	66
6.2	Valores de Referência	66
6.3	Avaliação de <i>Handover</i>	68
6.3.1	Dispositivos sem Manipulação de <i>Roaming</i>	71
6.3.2	Dispositivos com Manipulação de <i>Roaming</i>	74
6.4	Avaliação dos CODECs	79
6.5	<i>ClientMatch</i>	80
6.5.1	Variação dos Parâmetros do <i>Sticky Client</i> no Ambiente de Testes	80
6.5.2	Avaliação do <i>Sticky Client</i> na UnB <i>Wireless</i>	87
6.6	Impacto dos Padrões 802.11k e 802.11r no <i>Handover</i>	89
6.6.1	IEEE 802.11k	89
6.6.2	IEEE 802.11r	90
6.7	Discussão dos Resultados Obtidos	91
7	Conclusão e Trabalhos Futuros	94
	Referências	96
	Apêndice	101
A	Configurações Utilizadas no 802.11r	102
B	Configurações Utilizadas no 802.11k	106

Lista de Figuras

2.1	Família 802 e sua relação com o modelo OSI	7
2.2	Arquitetura padrão IEEE 802.11	7
2.3	Processo de <i>handover</i>	10
2.4	Estrutura de autenticação IEEE 802.1X	12
2.5	Associação com o MD	16
2.6	Hierarquia de chaves IEEE 802.11r	17
2.7	Processo <i>Over-the-Air</i>	18
2.8	Processo <i>Over-the-DS</i>	19
3.1	Elementos básicos RPTC	21
3.2	Computador a Computador	22
3.3	Computador a STFC	23
3.4	Adaptador ATA a STFC	23
3.5	Adaptador telefone IP a STFC	24
3.6	Arquitetura básica – VoIP	24
3.7	Processo PCM	25
3.8	Pilha de protocolos VoIP	27
3.9	Sessão SIP	29
3.10	Diagrama RTP	30
5.1	Capilaridade da REDUnB	47
5.2	Topologia REDUnB	48
5.3	Topologia UnB <i>Wireless</i>	49
5.4	Topologia do sistema de telefonia UnB	50
5.5	Funcionamento <i>ClientMatch</i>	52
5.6	Algoritmo <i>Sticky Client</i>	53
5.7	Ambiente UnBVoIP	56
5.8	Agressividade de <i>roaming</i> – placa de rede sem fio	60
5.9	Local dos experimentos	62
5.10	Ambiente de teste	63

6.1	Relação potência do sinal, ruído de fundo e SNR	68
6.2	Coleta do ruído de fundo e SNR	69
6.3	Último pacote e processo de autenticação	70
6.4	Primeiro pacote, processo de autenticação e cálculo realizado	70
6.5	Relação distância do AP e MOS - <i>Smartphone</i>	72
6.6	Relação distância dos APs e MOS – <i>Roaming</i> Médio	77
6.7	Relação limiar de <i>roaming</i> e MOS	79
6.8	Potência do sinal recebido pelo usuário móvel	84
6.9	Teste de funcionamento 802.11k	90
6.10	Teste de funcionamento 802.11r – 01	91
6.11	Teste de funcionamento 802.11r – 02	91
A.1	Seleção do <i>AP Group</i>	103
A.2	Acesso a configuração do 802.11r	104
A.3	Parâmetros 802.11r configurados	104
A.4	Perfis e parâmetros 802.11r configurados	105
A.5	SSID com 802.11r habilitado	105
A.6	802.11r habilitado no usuário	105
A.7	802.11r habilitado no AP	105
B.1	Acesso a configuração do 802.11k	107
B.2	Perfil 802.11k	107
B.3	Perfil <i>Handover Trigger</i>	108
B.4	Perfil RRM	108
B.5	Perfil <i>Beacon Report</i>	108
B.6	Perfil <i>TSM Report</i>	108
B.7	Perfis e parâmetros 802.11k configurados	109
B.8	802.11k habilitado no usuário	109
C.1	<i>ClientMatch</i>	111
C.2	Parâmetros <i>ClientMatch</i>	113

Lista de Tabelas

2.1	Padrões IEEE 802.11	8
3.1	CODECs	25
3.2	Mensagens de Requisição SIP	28
3.3	Mensagens de Resposta	28
3.4	Parâmetros de Qualidade de Voz	31
3.5	Avaliação Subjetiva	32
3.6	Categoria de Valores Fator R	34
5.1	Dispositivos utilizados nos experimentos	59
6.1	Parâmetros coletados do AP01 e AP02	67
6.2	Resultados com <i>Smartphone</i>	71
6.3	Mobilidade do cliente com ClientMatch – Notebook	73
6.4	Mobilidade do cliente com ClientMatch – Notebook – continuação	73
6.5	Resultados <i>roaming</i> alto	75
6.6	Resultados com <i>roaming</i> médio	76
6.7	Resultados com <i>roaming</i> baixo	78
6.8	Resultados dos testes de CODEC	79
6.9	Variações parâmetros <i>Sticky Client</i>	81
6.10	Resultados cliente móvel sem paradas	82
6.11	Resultados cliente móvel com paradas	83
6.12	Exemplo teste 60s variação 03	84
6.13	Atuação do <i>ClientMatch</i> – <i>Sticky Client</i> por variação	86
6.14	Migração <i>smartphone Sticky Client</i> com parada	86
6.15	Migração <i>smartphone Sticky Client</i> sem parada	86
6.16	Quantidade usuários médio por variação	88
6.17	Atuações <i>Sticky Client</i> por variação	88
6.18	Tempo de <i>handover</i>	88

Lista de Abreviaturas e Siglas

AP Access Point. 10, 18, 39, 42, 50, 66, 68, 69

ATA Analog Telephone Adaptor. 23

BSS Basic Service Set. 7–10, 13–16, 41, 43, 50, 57, 72, 74, 76, 88

BYOD Bring Your Own Device. 1, 2

CODEC Coders-Decoders. 3, 22, 28, 30, 33, 38, 41, 60

CPD Centro de Informática. 1, 2, 60

DVD Digital Versatile Disc. 5

EAP Extensible Authentication Protocol. 11, 12

ESS Extended Service Set. 9, 42

FT Fast BSS Transition. 17

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers. 1–4, 6, 8, 18, 34–37, 50

IETF Internet Engineering Task Force. 10, 26, 29

IP Internet Protocol. 10, 21, 22, 58, 61

ITU-T International Telecommunication Union. 33, 38

LAN Local Area Network. 6

LDAP Lightweight Directory Access Protocol. 54, 55

MAC Media Access Control. 6, 10

MD Mobility Domain. 15, 16

MIB Management Information Bases. 13

MOS Mean Opinion Score. 33, 37, 38, 41, 58, 68, 69

OSI Open Systems Interconnection. 6

PABX Private Automatic Branch Exchange. 55, 58, 61

PCM Pulse Code Modulation. 25

PMK Pairwise Master Key. 15

QoS Quality of Service. 3, 8, 37, 48, 56, 63, 75, 91

RF Radio Frequency. 14, 48

RFC Request For Comments. 10, 26

RPTC Rede Pública de Telefonia Comutada. 20

RRM Radio Resource Management. 13

RSSI Receive Signal Strength Indicator. 9, 50, 57

RTCP RTP Control Protocol. 29

RTP Real-Time Transport Protocol. 29, 30

SIP Session Initiation Protocol. 26, 28, 54–56, 69, 73

SNMP Simple Network Management Protocol. 13

STFC Serviço de Telefonia Fixo Comutado. 22–24, 47

TCP Transmission Control Protocol. 21, 26

UDP User Datagram Protocol. 26

UnB Universidade de Brasília. 1–4, 10, 15, 18, 25, 45–48, 51, 52, 55, 60, 61, 64, 87, 90, 91

VoIP Voice over Internet Protocol. 3, 4, 10, 13, 18, 21, 30, 31, 35–37, 40, 41, 43, 63, 75, 91

VoWiFi Voice over Wi-Fi. 34–36, 38, 44, 57, 60, 72, 76, 87, 90–92

WDS Wireless Distribution System. 7

WEP Wired Equivalent Privacy. 11

Wi-Fi Wireless Fidelity. 1, 2, 11, 34

WLAN Wireless Local Area Network. 1, 5, 6, 8–10, 18, 36, 40, 42, 44, 46–48, 50, 63, 64

WPA Wi-Fi Protected Access. 11, 12, 39

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos temos vivenciado uma revolução na forma de comunicação. Tecnologias de rede sem fio têm possibilitado aos usuários acesso ao mundo da *Internet* em locais diversificados, como: aeroportos, restaurantes, hotéis, dentre outros. Uma dessas tecnologias é o padrão IEEE 802.11, também conhecido como Wireless Local Area Network (WLAN) ou Wireless Fidelity (Wi-Fi) [23]. De acordo com Almeida [4], o padrão vem evoluindo não somente em termos de capacidade de transmissão, mas também em confiabilidade e área de cobertura.

A utilização das redes Wi-Fi tem crescido abruptamente, tornando-se padrão de fato e equipando vários tipos de dispositivos móveis, por exemplo: *notebooks*, celulares e *desktops*. Isso tem levado os usuários a utilizarem seus dispositivos em lugares onde tenham acesso à rede com diferentes finalidades, como visualização de vídeos. Essa tendência, denominada de traga o seu próprio dispositivo (do Inglês, *Bring Your Own Device* – BYOD), vem crescendo devido a popularização dos dispositivos móveis [61]. Como exemplo, podemos citar a comunidade da Universidade de Brasília (UnB), que se encontra composta por estudantes, funcionários e professores que portam dispositivos móveis e utilizam a rede Wi-Fi da Universidade, intitulada de UnB *Wireless*, para diversos fins.

O projeto UnB *Wireless* teve início no ano de 2009, com a disponibilização do serviço em 2011 para aproximadamente quarenta mil usuários da comunidade acadêmica, por meio de quinhentos e dez pontos de acesso, distribuídos pelo campus Darcy Ribeiro e Planaltina [1]. Atualmente, o campus de Ceilândia encontra-se inserido neste escopo. Existe a intenção de compra de mais quinhentos pontos de acesso para que sejam distribuídos em locais ainda não contemplados, aumentando a capilaridade do serviço [84].

Com o êxito da implantação do serviço de rede sem fio, a UnB, por meio do Centro de Informática (CPD) vem estudando alternativas para agregar outros serviços sob a rede UnB *Wireless*, dentre eles, o serviço de voz. O plano é que se possam integrar os serviços de telefonia e de dados, em que o usuário, com seu dispositivo móvel, poderá se deslocar

pelo campus realizando e recebendo chamadas telefônicas, sem custo [1].

A convergência entre dados e voz, agregada a tendência a BYOD, proporcionará à UnB redução de custos no investimento em telefonia, onde os maiores gastos estão relacionados a aquisição de novas centrais telefônicas, atualização de sistema operacional, aquisição de licenças, placas de diversos tipos (ramais, geração de tom, etc.), material de infraestrutura (cabos metálicos, *voice panels*), dentre outros. Um dos fatores que proporcionará a redução de custos é a utilização da infraestrutura de rede existente, não sendo necessários investimentos adicionais nessa área e nem na aquisição de terminais telefônicos, pois os usuários utilizarão seus dispositivos pessoais.

A idealização de integração entre o serviço de telefonia e o de dados pelo CPD/UnB teve início em 2013, por meio do projeto UnBVoIP que visa disponibilizar o serviço de telefonia IP à comunidade acadêmica utilizando a rede UnB *Wireless*. Hoje, o ambiente encontra-se finalizado e testes iniciais foram executados, mas ainda não está em produção por necessitar de avaliações mais detalhadas. Ele permitirá que qualquer aluno, servidor ou professor, por meio de sua matrícula, realize e receba chamadas internas no âmbito dos *campi* da Universidade.

Telefonia IP e rede Wi-Fi são duas tecnologias que há algum tempo vem crescendo no mercado, mas como já afirmava Katz [44], a transmissão multimídia por meio de sistemas sem fio é um desafio que continua até os dias atuais. Integrar serviço multimídia a rede sem fio significa construir estruturas adaptativas que otimizem recursos, como: banda passante, capacidade de processamento e armazenamento, consumo de energia, atraso, qualidade auditiva da voz, dentre outros [45] [53]. Visto isso, antes da implantação de serviços multimídia em rede padrão IEEE 802.11, é importante uma avaliação anterior do cenário, mediante testes e adaptações do ambiente de voz e de rede, para que os usuários possam usufruir de um serviço de qualidade. A proposta deste trabalho está inserida nesta visão.

1.1 Motivação

Atualmente, a rede UnB *Wireless* atende a um grande número de usuários espalhados pelo campus e *campi* da UnB, onde alunos, servidores, colaboradores e professores têm acesso a *Internet*, desfrutando das vantagens que a rede sem fio oferece, como: mobilidade, flexibilidade, entre outros. Mediante o *software* de monitoramento da UnB *Wireless*, *AirWave* [6], foi possível observar que, nos meses transcorridos do ano de 2015, a média de usuários conectados simultaneamente chegou a cinco mil, com picos de oito mil usuários. Isso se deve à popularização dos dispositivos móveis, que dão ao usuário a facilidade de

acesso à rede, permitindo-lhe que faça uso de aplicativos para acesso às redes sociais, assistir vídeo, escutar música e até mesmo utilizar serviços de telefonia, por exemplo.

A princípio, a rede sem fio da UnB foi desenhada para o tráfego de dados que não são suscetíveis a atraso e, com a intenção de se transmitir voz por meio da rede UnB *Wireless* mediante mobilidade, faz-se necessário um estudo anterior. A flexibilidade e a escalabilidade que as redes sem fio proporcionam devem ser avaliadas com cuidado, em se tratando de serviço de voz. Os problemas são mais impactantes que nas redes cabeadas convencionais, existindo concorrência de acesso ao meio por outras aplicações, interferências, atenuação e propagação do sinal, que variam de acordo o local.

A solução de rede sem fio implantada na UnB dispõe de recursos que ajudam a minimizar os problemas para o tráfego de voz, garantindo qualidade de serviço para aplicações de tempo real que se utilizam da facilidade de mobilidade. Três dos recursos passíveis de configuração são o padrão IEEE 802.11r [36], também conhecido como *Fast Handover* ou *Fast BSS Transition*; o IEEE 802.11k [36]; e o *ClientMatch* [57], patenteado pelo fabricante *Aruba NetWorks*.

1.2 Objetivos

Diante do contexto apresentado, este trabalho objetiva avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte a mobilidade e tráfego de voz, visto o processo de transição entre pontos de acesso ser um dos parâmetros que degrada a qualidade de serviço de aplicações multimídia de tempo real. Além disso, será aferida a qualidade auditiva da voz e o desempenho dos principais parâmetros de QoS (do Inglês, *Quality of Service*) em uma rede VoIP, como: atraso, variação do atraso (do Inglês, *jitter*) e perda de pacotes.

De acordo com Almeida [4], outro fator que impacta na percepção da qualidade auditiva da voz é a escolha do CODEC. Três CODECs foram selecionados com o objetivo de verificar qual deles melhor se adapta a facilidade de mobilidade em redes padrão IEEE 802.11. Este trabalho servirá de estudo inicial para a implantação do serviço de voz sobre a rede UnB *Wireless* a ser disponibilizado à comunidade acadêmica da Universidade de Brasília.

1.3 Metodologia

O método utilizado no escopo deste trabalho para alcançar os objetivos propostos pode ser resumido em duas etapas. Na primeira etapa fora realizado estudo bibliográfico com o objetivo de conhecer as tecnologias e técnicas envolvidas no trabalho em questão. Nesta

parte, foram estudados princípios das redes sem fio, padrões das redes IEEE 802.11, tecnologias que ajudam o tráfego de voz em redes 802.11 mediante mobilidade, Voz sobre IP, técnicas de aferição da qualidade auditiva do áudio, bem como um levantamento de trabalhos científicos que embasam a pesquisa do trabalho em questão.

A segunda etapa é a de experimentos, que avaliam a transmissão de voz por meio da rede sem fio da Universidade de Brasília, utilizando técnicas suportadas pela solução de rede sem fio existente, as quais amenizam fatores que degradam a qualidade auditiva da voz mediante mobilidade. Para tal, foram utilizados os ambientes de rede: REDUnB e UnB *Wireless* para o transporte dos dados e o ambiente UnBVoIP para a comunicação de voz.

1.4 Contribuição Esperada

Por meio deste trabalho, almeja-se que o mesmo possa vir a contribuir para avaliações iniciais de tecnologias existentes na solução de rede sem fio da UnB, as quais auxiliam o tráfego de voz mediante mobilidade, tendo em vista a intenção de implantação do serviço de voz na rede sem fio da Universidade. Ademais, espera-se analisar parâmetros que afetam a qualidade de serviço de aplicações sensíveis ao atraso na rede UnB *Wireless* e verificar se a mesma está apta ao tráfego de voz.

1.5 Estrutura do Trabalho

A fim de alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi dividido em sete capítulos. O segundo capítulo faz um estudo sobre as redes sem fio, com ênfase nas redes padrão IEEE 802.11, abordando sua evolução, formas de autenticação, mobilidade e padrões desenvolvidos para auxiliar serviços sensíveis ao atraso mediante mobilidade. O terceiro é dedicado à tecnologia de Voz sobre IP, onde serão abordados os principais cenários de comunicação, tecnologias envolvidas para o tráfego de voz, fatores que afetam a qualidade de serviço em redes VoIP e técnicas e metodologias utilizadas para mensurar a qualidade auditiva da voz. O quarto capítulo apresenta o estado da arte, sendo abordados trabalhos científicos correlacionadas com o estudo em questão. O quinto capítulo faz um estudo da infraestrutura de rede que integra o sistema de comunicação da UnB (REDUnB, UnB *Wireless* e Telefonia), juntamente com as soluções que compõem o sistema. O sexto capítulo aborda os experimentos realizados, análises e resultados obtidos. O sétimo apresenta as conclusões e as perspectivas para trabalhos futuros. Por fim, no Apêndice constam configurações executadas no ambiente de rede sem fio da UnB.

Capítulo 2

Redes sem Fio

Este capítulo tem o objetivo de realizar um estudo sobre as redes sem fio, dando ênfase às redes WLAN (do Inglês, *Wireless Local Area Network*), padrão IEEE 802.11, abordando sua evolução, formas de autenticação, mobilidade e padrões desenvolvidos para auxiliar serviços sensíveis ao atraso mediante mobilidade.

2.1 Classificação das Redes sem Fio

Até recentemente a comunicação entre os dispositivos de rede só era possível por meio da interligação de cabos. Essa forma de comunicação limita a mobilidade do usuário visto o seu alcance e, em certas ocasiões, exige adaptações da infraestrutura para a acomodação dos dispositivos. A rede sem fio surgiu a princípio com o objetivo de eliminar essas limitações [54].

Hoje, por meio das redes sem fio, não é mais necessário estar conectado a um cabo de rede para navegar pela *Internet*, acessar o correio eletrônico e assistir vídeos. Basta se ter cobertura desse tipo de rede. De acordo com Kurose [46], estima-se que até 2016 oitocentos milhões de casas terão rede sem fio instalada e a quantidade de dados trafegados por meio das redes móveis será igual a quantidade de bilhões de DVDs (do Inglês, *Digital Versatile Disc*).

As redes sem fio estão sendo utilizadas em várias áreas, como: educação, negócio, indústria, segurança, dentre outros, e estão classificadas de acordo com sua abrangência [28]:

- ***Wireless Personal Area Network (WPAN)***: tecnologia projetada para interligar dispositivos portáteis, utilizando velocidade baixa de comunicação e distância de no máximo 10 metros entre os dispositivos. Ex.: *Bluetooth*;

- **Wireless Local Area Network (WLAN)**: tecnologia idealizada para substituir ou complementar as redes cabeadas locais (*Local Area Network* – LAN). Os dispositivos podem enviar e receber dados com velocidade que atingem até 1,3 Gbps (IEEE 802.11ac) [75];
- **Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)**: tecnologia projetada para atender a uma área mais ampla de cobertura, podendo cobrir vários bairros ou até mesmo toda uma cidade de pequeno porte;
- **Wireless Wide Area Network (WWAN)**: rede com alcance superior às WMAN;

Segundo Ciampa [13], os tipos de rede sem fio estudados anteriormente podem ser diferenciados basicamente por sua velocidade de transmissão e abrangência do sinal. Cabe ressaltar que o tipo de rede sem fio utilizado pela Universidade de Brasília atualmente encaixa-se dentro da tecnologia WLAN, padrão IEEE 802.11, o qual será estudado na Seção 2.2.

2.2 Redes Locais sem Fio – WLAN

Com o desenvolvimento tecnológico, o campo das telecomunicações tem vivenciado constante evolução, principalmente quando se fala no crescimento do uso das redes sem fio. Padrões de rede sem fio surgiram desde a década de 1990 e um dos que vem se destacando no mercado é o IEEE 802.11 [36], também conhecido como Wi-Fi ou WLAN [46].

A cada dia que passa, observamos o crescimento constante das redes padrão IEEE 802.11, as quais já equipam a maioria dos equipamentos portáteis. Visto isso, estima-se que até o final desta década, 55 bilhões de dispositivos sem fio estejam em operação. Fase que está sendo denominada de década da mobilidade [5] [4]. A tecnologia Wi-Fi faz parte da família IEEE 802 [28], que objetiva especificar normas para redes locais – LAN. A Figura 2.1 ilustra a relação existente entre os vários componentes da família 802 com o modelo OSI. Como é possível observar na Figura 2.1, o padrão IEEE 802.11 encontra-se localizado na subcamada MAC e na camada física do modelo OSI. A camada MAC é um conjunto de regras que determinam como acessar o meio e enviar os dados, deixando a responsabilidade de transmissão e recepção dos dados para a camada física [28].

O padrão IEEE 802.11 define a arquitetura de uma LAN sem fio, podendo atuar em dois modos: o infraestruturado, em que a comunicação é realizada por meio de pontos de acesso; e o *ad-hoc*, no qual os usuários comunicam-se entre si sem a presença de pontos de acesso [86]. A Figura 2.2 apresenta a arquitetura do modo infraestruturado, juntamente com os principais componentes que a integram. As definições de cada componente encontram-se a seguir:

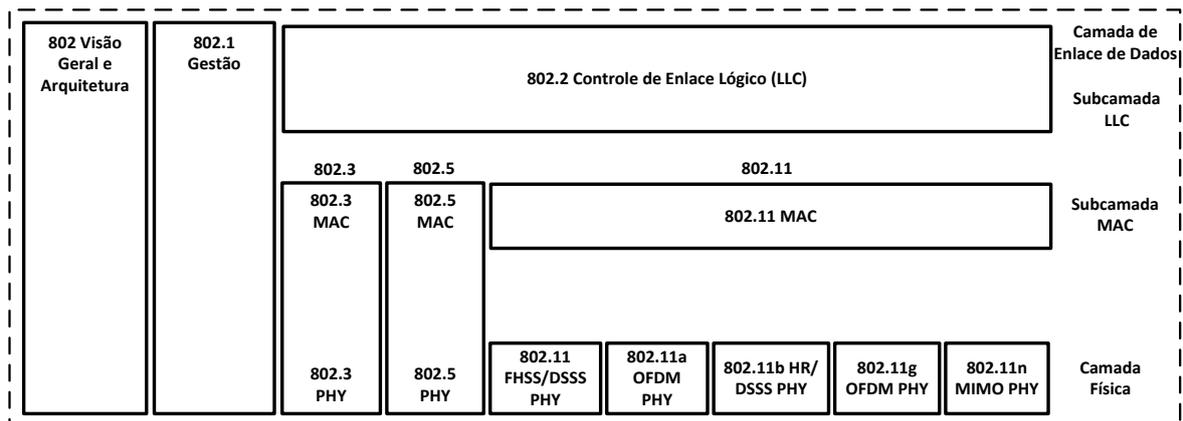


Figura 2.1: Família 802 e sua relação com o modelo OSI (Adaptado de [28])

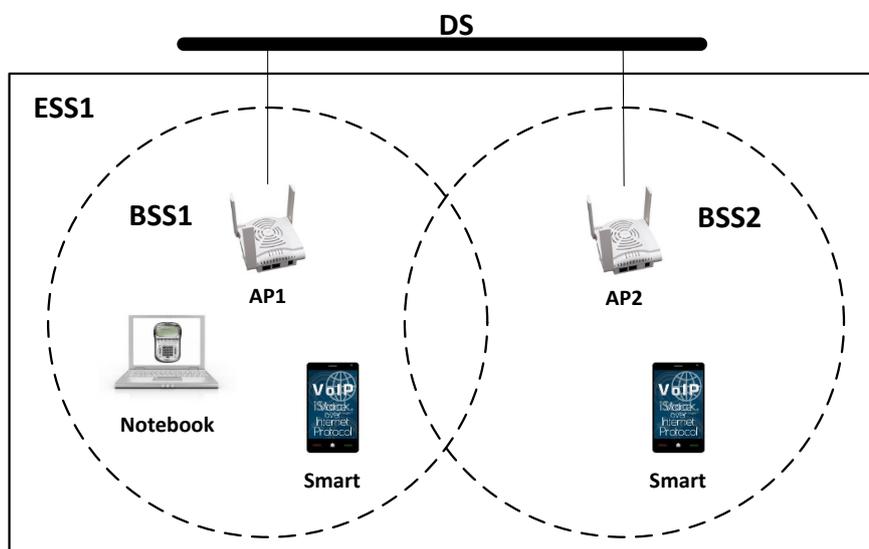


Figura 2.2: Arquitetura padrão IEEE 802.11 (Adaptado de [13])

- **Access Point (AP):** responsável por coordenar a comunicação entre as estações dentro da respectiva BSS;
- **Basic Service Set (BSS):** consiste de um AP conectado a uma rede cabeada e a um ou mais clientes;
- **Stations (STA):** estações de trabalho que se comunicam entre si dentro de uma célula;
- **Distribution System (DS):** infraestrutura necessária para a interconexão dos pontos de acesso, podendo esta ser mediante a rede cabeada ou enlace sem fio (*do Inglês, Wireless Distribution System – WDS*);

- **Extended Service Set (ESS):** conjunto de estações formado pela união de várias BSS conectadas por um sistema de distribuição.

Com o objetivo de manter a interoperabilidade e a competitividade entre os fabricantes, a IEEE definiu padrões para as redes WLAN baseadas na norma IEEE 802.11, como descrito na próxima seção.

2.2.1 Padrões IEEE 802.11

Em meados da década de 90, foi constituído um comitê pela IEEE para definir um padrão de conectividade sem fio, que permitisse interoperabilidade entre diferentes fabricantes. Após sete anos formulou-se um padrão para equipamentos de rádio e redes que atuasse em uma banda de frequência não licenciada de 2,4 GHz com taxas de 1 e 2 Mbps [86]. Visto a grande quantidade de reclamações sobre a lentidão do padrão, evoluções subsequentes dos padrões ocorreram, como é possível observar na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Padrões IEEE 802.11
(Adaptado de [86] e [75])

Padrão	Frequência	Taxa de Dados
802.11b	2.4 GHz	Até 11 Mbps
802.11a	5 GHz	Até 54 Mbps
802.11g	2.4 GHz	Até 54 Mbps
802.11n	2.4 ou 5 GHz	Até 600 Mbps
802.11ac	5 GHz	Até 1,3 Gbps

Inicialmente, as redes Wi-Fi foram projetadas para o tráfego de dados, com o objetivo de prover aos usuários acesso a *Internet*, sem necessidade do uso de cabos conectados aos dispositivos. Com o avanço dos dispositivos móveis, necessidade de mobilidade e tráfego de voz e vídeo por meio das redes 802.11, a IEEE criou uma gama de normas, objetivando padronizar tecnologias para atender às demandas, como por exemplo, as normas: 802.11f, 802.11e, 802.11k e 802.11r [54]. Serão estudados os padrões IEEE 802.11k e 802.11r, uma vez que estão diretamente correlacionados com o escopo deste trabalho. Padrões que ajudam a minimizar os fatores que influenciam no tráfego de voz no processo de transição entre os APs, provendo certo nível de QoS para o tráfego de voz. Antes de se estudar as tecnologias supracitadas, faz-se necessário uma visão geral sobre mobilidade, *handover* e métodos de autenticação, para um melhor entendimento da aplicabilidade dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r.

2.2.2 Mobilidade

Mobilidade é a mais importante característica das redes sem fio no âmbito deste trabalho. De acordo com o padrão IEEE 802.11 [37], mobilidade em redes Wi-Fi pode ser definida como o deslocamento do usuário sem perder conectividade, a qual pode se apresentar de três formas:

- **Sem transição:** as estações móveis se movimentam somente dentro de sua BSS local;
- **Com transição entre BSS:** os dispositivos móveis realizam o processo de transição entre as BSS dentro de uma mesma ESS;
- **Com transição entre ESS:** ocorre no momento em que o cliente móvel transita entre a área de cobertura de duas BSS distintas que pertencem a ESS diferentes.

Como relata Couto [20], para a avaliação de desempenho de sistemas com mobilidade em redes sem fio, é essencial que se avalie o parâmetro de *handover*.

Handover

Em redes padrão IEEE 802.11, define-se como *handover* o processo de transição que uma estação móvel realiza entre dois APs [20]. Segundo Coleman [15], geralmente os problemas que ocorrem no processo de *handover* são ocasionados devido a falhas no planejamento da rede, defeito nos *drivers* dos dispositivos móveis ou até mesmo devido a mudanças no ambiente de WLAN.

Os dispositivos móveis são responsáveis por decidir ou não entrar em processo de transição entre BSS, onde utilizam algoritmos proprietários no processo de decisão. Geralmente, a decisão de migração ocorre de acordo com o nível do sinal que o usuário está recebendo (RSSI, do Inglês, *Receive Signal Strength Indicator*), além do nível de ruído e erros de transmissão, sendo o nível do sinal recebido pelo dispositivo o principal parâmetro na tomada de decisão [15].

Visto o processo de decisão de migração ficar a cargo do dispositivo móvel, em que cada fabricante elabora o seu próprio algoritmo para o processo de *handover*, os dispositivos móveis podem atuar de formas distintas, migrando antes ou depois do limiar configurado e até mesmo não migrar [85]. Problemas como estes afetam diretamente a qualidade de serviço em aplicações de tempo real. Para solucionar estes e outros problemas, o IEEE criou os padrões 802.11k e o 802.11r, que serão discutidos nas Seções 2.3 e 2.4.

Basicamente, o processo de *handover* se origina da seguinte forma: ao distanciar-se do AP de origem, o dispositivo móvel começa a perceber certo nível de degradação na qualidade do sinal, que a certo limiar determina que o processo de *handover* seja

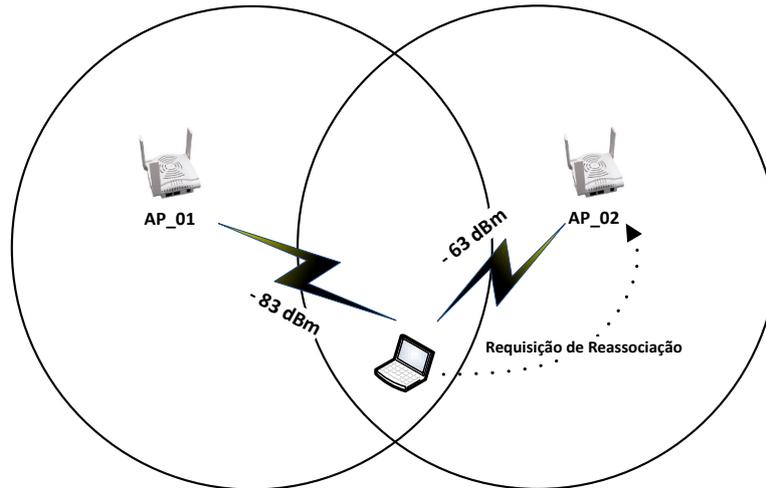


Figura 2.3: Processo de *handover*
(Adaptado de [15])

executado. Nesse estágio, o dispositivo móvel inicializa o processo de busca (do Inglês, *scanning*) por outros pontos de acesso [48]. Após o término do processo de busca, o cliente móvel seleciona o AP e realiza o processo de autenticação e reassociação com o AP selecionado, enviando as mensagens apropriadas ao AP de destino. Dentre todas as fases, a de busca é a mais demorada, podendo consumir até 90% do tempo de migração [48]. A Figura 2.3 ilustra o processo básico de migração, como descrito anteriormente.

Couto [20] relata que o processo de *handover* pode afetar diferentes camadas da arquitetura de rede, pois quando o processo ocorre entre BSS em uma mesma sub-rede, as alterações ficam restritas à camada MAC (do Inglês, *Media Access Control*). Contudo, quando o *handover* ocorre entre pontos de acesso que se encontram em sub-redes diferentes, são necessários ajustes nas configurações da camada de rede, ou seja, troca do endereçamento IP, além do suporte dado pela camada MAC. O fato relatado anteriormente é um problema para serviços como VoIP, pois ao estabelecer uma sessão, a qual se encontra atrelada a um endereçamento IP, a comunicação entre os pontos finais é finalizada.

Para solucionar o problema, a IETF (do Inglês, *Internet Engineering Task Force*) padronizou a tecnologia de IP móvel (do Inglês, *Mobile IP*), definida na RFC 3344 [11]. O *Mobile IP* permite que dispositivos móveis permaneçam com o mesmo endereçamento IP ao realizar o processo de transição para uma BSS que se encontra configurada em uma sub-rede diferente. O estudo desta tecnologia está além do escopo deste trabalho. Atualmente, a solução de WLAN da UnB garante que os dispositivos móveis permaneçam com o mesmo endereçamento IP nas transições realizadas entre BSS gerenciadas pela mesma controladora.

O processo de *handover* divide-se em duas modalidades: horizontal e vertical. Basicamente, o processo de *handover* horizontal é aquele que envolve as mesmas tecnologias de rede, como por exemplo, transição do cliente móvel entre pontos de acesso em uma rede Wi-Fi. Já o processo de *handover* vertical envolve tecnologias diferentes, tendo em conta, a transição do cliente móvel de uma rede Wi-Fi para WiMAX (do Inglês, *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) [17].

Além das modalidades apresentadas de *handover*, este pode ser classificado de acordo com o número de conexões existentes no momento, como: *hard* e *soft*. A modalidade *Hard* ocorre quando a estação móvel está conectada a somente uma rede no momento da execução, ou seja, o cliente móvel se desconecta do AP de origem e se conecta ao AP de destino. Esse processo é conhecido como: *handover break before make*. Na modalidade *soft*, a estação móvel permanece conectada à rede antiga antes de associar-se à nova, *handover make before break* [17].

Durante o processo de *handover*, antes que o dispositivo móvel possa transmitir seus dados pela rede sem fio por meio do AP de destino, é necessário que o mesmo se autentique. O processo básico de autenticação será abordado na próxima seção.

2.2.3 Autenticação

As redes sem fio trafegam seus dados por meio de sinais de radiofrequência e estão sujeitas ao uso de qualquer pessoa que dispõe de um dispositivo móvel. Devido a questões de segurança, tecnologias de autenticação foram criadas.

Autenticação é o procedimento de verificação da identidade e credenciais do usuário [16]. O padrão IEEE 802.11 [37] definiu dois métodos de autenticação de usuários, o sistema aberto (do Inglês, *Open System*) e a chave compartilhada (do Inglês, *Shared Key*), os quais trabalham em conjunto com o método de segurança WEP (do Inglês, *Wired Equivalent Privacy*). Visto as vulnerabilidades apresentadas, a IEEE criou em 2004 a emenda 802.11i, que descreve novas técnicas de autenticação e criptografia para redes sem fio [15]. O padrão IEEE 802.11i define dois métodos de autenticação [16]:

- **WPA Personal:** método de autenticação que trabalha utilizando chaves pré-compartilhadas (do Inglês, *Pre-Shared Key* – PSK). Este é geralmente utilizado nas redes sem fio residenciais e em pequenos escritórios (do Inglês, *Small Office/Home Office* – SOHO);
- **WPA Enterprise:** método de autenticação baseado na norma IEEE 802.1X/EAP. Essa forma de autenticação é geralmente aplicada em redes corporativas, que utilizam um servidor de autenticação, na maioria das vezes um servidor RADIUS (do Inglês, *Remote Authentication Dial-in User Service*).

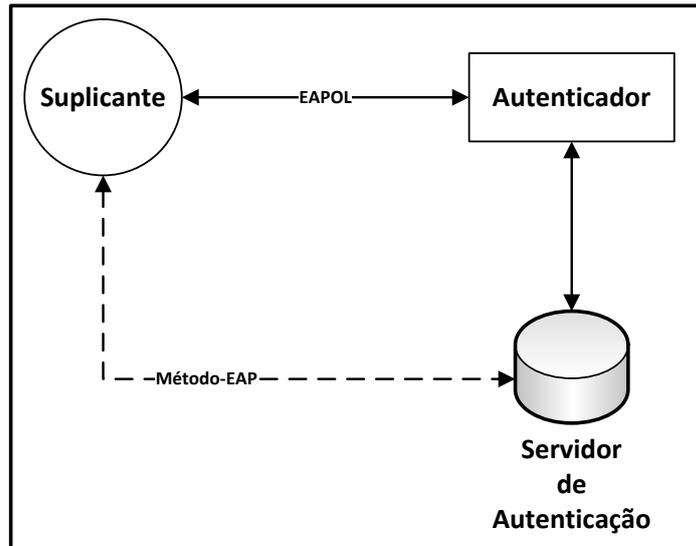


Figura 2.4: Estrutura de autenticação IEEE 802.1X
(Adaptado de [49])

Atualmente, a Universidade de Brasília utiliza uma infraestrutura que se encaixa no método WPA *do Inglês, (Wi-Fi Protected Access) Enterprise* para autenticar seus usuários, fazendo uso do protocolo 802.1X e de um servidor RADIUS. O 802.1X é um padrão de controle de acesso com base em porta, o qual provê mecanismos de autenticação para os dispositivos que desejam ter acesso à rede sem fio. O padrão define o encapsulamento do EAP (do Inglês, *Extensible Authentication Protocol*), também conhecido como EAP sobre LAN (do Inglês, *EAP over LAN – EAPOL*), com a finalidade de prover autenticação do usuário móvel. O IEEE 802.1X consiste de três componentes [16]:

- **Suplicante**: dispositivo que solicita autenticação e acesso aos recursos da rede;
- **Autenticador**: dispositivo que permite ou bloqueia o tráfego de dados mediante a porta da entidade;
- **Servidor de Autenticação**: servidor que realiza validação das credenciais do suplicante e notifica ao autenticador se o suplicante foi autorizado.

A Figura 2.4 apresenta a arquitetura do controle de acesso proposto na norma IEEE 802.1X. Cabe ressaltar na Figura 2.4 que a conexão existente entre o Suplicante e o Servidor de Autenticação é para transporte das credenciais de autenticação. O protocolo EAP, encapsulado pelo 802.1X, suporta uma variedade de mecanismos de autenticação, como: EAP-TLS, TTLS, PEAP, dentre outros, e dependendo do método utilizado, várias mensagens podem ser trocadas, gerando atrasos durante o processo de autenticação [49].

Coleman [16] enfatiza que o processo de *handover* pode se tornar problemático em ambientes que utilizam o método WPA *Enterprise*, principalmente para aplicações como

VoWiFi, pois os atrasos podem superar 700 ms. Ele destaca que padrões como o IEEE 802.11r e IEEE 802.11k são essenciais para um melhor desempenho do *handover* nas redes padrão IEEE 802.11, sendo basicamente o 802.11r utilizado para diminuir o tempo de transição do cliente móvel entre BSS e o 802.11k para a descoberta do melhor ponto de acesso na transição do dispositivo móvel. Os padrões serão discutidos nas seções subsequentes.

2.3 IEEE 802.11k

O IEEE 802.11k é uma emenda do padrão IEEE 802.11, finalizada no ano de 2008, que cuida do gerenciamento dos recursos de rádio (RRM, do Inglês, *Radio Resource Management*). Esta norma provê informações com o objetivo de descobrir qual o melhor ponto de acesso disponível para o usuário, além melhorar a distribuição do tráfego dentro de uma rede sem fio [29]. O RRM permite que o dispositivo observe e colete informações do desempenho da conexão e do ambiente, sendo possível realizar medições locais ou solicitar a outro dispositivo as medições desejadas e vice-versa. O gerenciamento dos recursos de rádio contam com medidas que ampliam a capacidade, confiabilidade e manutenção de WLANs [33].

Por meio do padrão, os dispositivos mantêm uma lista dos clientes móveis e pontos de acesso que se encontram na proximidade. Além da visibilidade dos clientes e pontos de acesso, mediante a lista mantida no dispositivo móvel é possível obter estatísticas da conexão, utilização do canal, taxa de dados, assim como relatórios de eventos de associação e autenticação. O padrão ainda fornece uma lista extensa de MIBs (do Inglês, *Management Information Bases*), onde as informações podem ser repassadas a outras entidades de rede via SNMP (do Inglês, *Simple Network Management Protocol*) [31].

Para atender às tecnologias que fazem uso da mobilidade, como VoIP, o padrão provê relatórios do rádio, dentre eles: carga no canal (do Inglês, *Channel Load*) e pontos de acesso vizinhos. Os relatórios podem ser utilizados para acelerar o processo de migração e tomadas de decisões mais inteligentes [33]. De acordo com o padrão IEEE 802.11k [33], são previstos alguns tipos de relatórios:

- **Beacon:** permite ao cliente requisitar de outro dispositivo uma lista de APs. As requisições podem ser realizadas no modo ativo, passivo ou tabela de *beacon*;
- **Quadros:** obtém informação sobre a quantidade de quadros recebidos de cada dispositivo presente em um ou mais canais durante o período de medição. Também informa a potência média de recepção dos quadros, BSSID do transmissor, dentre outros;

- **Carga no canal:** obtém informação sobre a utilização do canal utilizado pelo dispositivo durante o período de medição;
- **Ruído:** fornece um histograma, por amostragem, do nível de ruído, nos períodos em que o meio foi detectado desocupado;
- **Estatística dos dispositivos:** retorna informações estatísticas sobre os dispositivos e atrasos no BSS, tais como: quantidade de quadros *multicast* transmitidos, quantidade de falhas, fragmentos recebidos, atraso médio de acesso ao AP, utilização do canal, entre outros;
- **Informação de posicionamento:** fornece informações geográficas dos dispositivos, como latitude, longitude e altitude. O dispositivo localizado no primeiro andar de um prédio é considerado como métrica de altitude;
- **Vizinhança:** este tipo de relatório retorna informações sobre os APs vizinhos, que podem ser utilizadas no processo de migração na escolha do AP candidato;
- **Aferições da conexão:** fornece medições das características de RF (do Inglês, Radio Frequency) dos canais utilizados pelo dispositivo;
- **Transmissão de Fluxo/Aferição de categoria:** permite o dispositivo consultar a um vizinho a qualidade de serviço do canal para o fluxo de tráfego entre eles;
- **Aferição em pausa:** a requisição de aferição em pausa não recebe nenhum relatório de retorno. Este provê o controle do período de aferição quando as requisições de quadro são repetidas;
- **Aferição piloto:** este mecanismo de relatório é transmitido periodicamente pelo AP em curto espaço de tempo, o qual está diretamente relacionado com o intervalo de *beacon*. Este provê um conjunto de informações fornecidas pelo quadro de *beacon* e tem o objetivo de ajudar o dispositivo na fase *scanning*;

Os mecanismos apresentados fornecem aos dispositivos capacidade para estes gerirem e consultarem o ambiente de RF. Com isso, poder realizar avaliações adequadas e ser capaz de tomar decisões eficientes e apropriadas no processo de transição entre as BSS [33].

2.4 IEEE 802.11r

O IEEE 802.11r, também conhecido como transição rápida entre BSS (FT, do Inglês, *Fast BSS Transition*), é uma emenda do padrão IEEE 802.11, finalizada no ano de 2008.

A tecnologia também é referenciada como transição rápida entre BSS segura, por definir tipos de *handover* em redes sem fio que utilizam métodos avançados de segurança. O objetivo principal do padrão é garantir que dispositivos móveis possam realizar o processo de *handover* entre BSS de forma rápida e segura, visto aplicações como VoIP serem sensíveis ao atraso [34].

O tempo de *handover* torna-se mais problemático quando soluções de segurança, como *WPA-Enterprise* ou *WPA2-Enterprise*, fazem uso do servidor RADIUS para fins de autenticação por meio do padrão 802.1X/EAP. Segundo Coleman [15], esta solução pode acarretar tempos de transição acima de 700 ms, crítico para aplicações multimídia de tempo real. Hoje, a UnB utiliza ambiente similar ao relatado anteriormente, sendo extremamente necessário um estudo de viabilidade para a implantação de tecnologias que ajudem a garantir qualidade de serviço para o tráfego de voz no processo de transição entre BSS, como é o caso do padrão IEEE 802.11r.

A tecnologia utilizada pelo padrão 802.11r trabalha com o conceito de domínio de mobilidade (MD, do Inglês, *Mobility Domain*), definido como um grupo de APs que pertencem a uma mesma ESS, em que os dispositivos móveis realizam as transições de forma rápida e segura. O primeiro passo executado pelo cliente, ao adentrar no MD, é a autenticação mediante o padrão 802.1X e a associação a um dos APs, que a princípio é realizado por meio de autenticação aberta com o AP escolhido. No processo de autenticação *Enterprise*, o método 802.1X/EAP é utilizado para criar uma chave de sessão mestre (do Inglês, *Master Session Key – MSK*) e derivar a chave PMK (do Inglês, *Pairwise Master Key*). Após a troca de credenciais entre o servidor RADIUS e o suplicante (dispositivo móvel), fase denominada de 4 vias (do Inglês, *Four Way Handshake*), a chave PMK é criada na sessão MSK e enviada ao autenticador (controladora *wireless*) [16]. A Figura 2.5 apresenta o processo inicial de autenticação e associação ao MD, como relatado anteriormente.

O padrão IEEE 802.11r [34] define diferentes níveis de PMKs que encontram-se armazenadas em equipamentos distintos, como por exemplo (apresentado na Figura 2.6):

- ***Pairwise Master Key R0 (PMK – R0)***: primeiro nível da hierarquia de chave, onde a PMK–R0 é derivada da chave MSK. Esta chave encontra-se armazenada em controladoras *wireless*;
- ***Pairwise Master Key R1 (PMK – R1)***: segundo nível da hierarquia de chave. A chave encontra-se armazenada no AP;
- ***Pairwise Transient Key (PTK – S0)***: terceiro nível da hierarquia de chave, utilizada para encriptar quadros 802.11. Neste nível, a chave encontra-se armazenada no cliente.

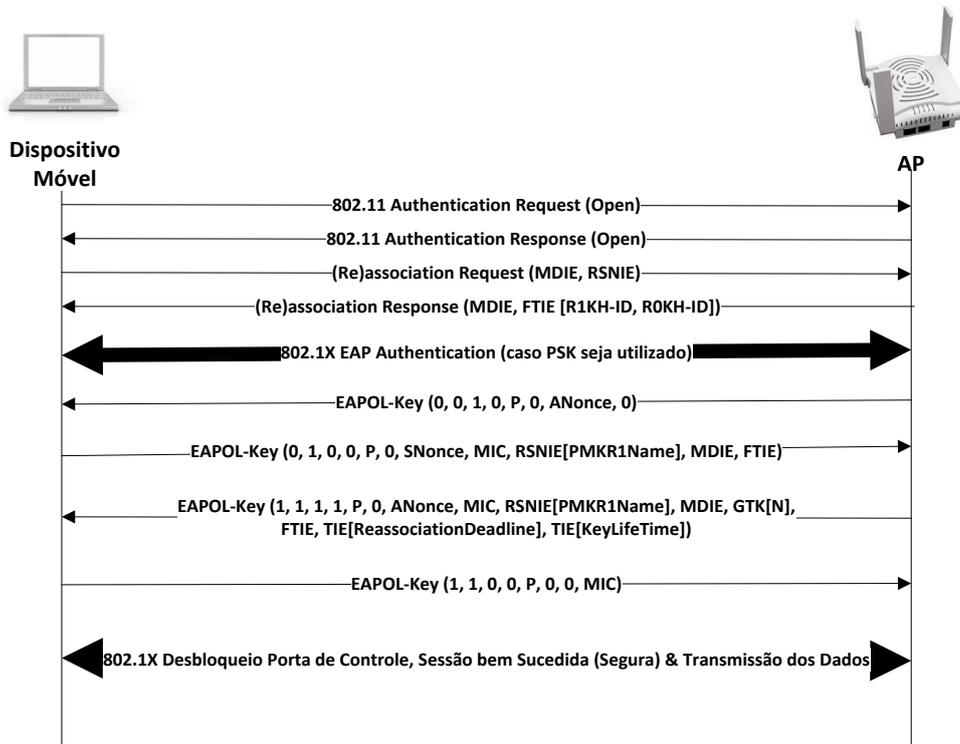


Figura 2.5: Associação com o MD
(Adaptado de [34])

Segundo [34], alguns elementos são definidos para o processo de transição segura entre BSS, os quais fazem parte do processo inicial de autenticação e associação no MD. Cabe lembrar que nesta fase, os elementos MDIE e FTIE são utilizados para indicar no momento da associação, intenção futura de transições rápidas entre BSS [16].

- **Mobility Domain Information Element (MDIE)**: utilizado para informar a existência de um domínio, assim como um método de transição segura entre BSS;
- **Mobility Domain Identifier (MDID)**: identificador do grupo de APs que integram um MD;
- **Fast BSS Transition Information Element (FTIE)**: inclui informações necessárias para executar a sequência de autenticação durante o FT;
- **Robust Secure Network Information Element (RSNIE)**: informa as capacidades de segurança tanto do AP, quanto do dispositivo móvel durante o processo de associação.

Após a primeira associação com o MD, o processo de reassociação utilizando o 802.11r pode ser executado de duas formas, *Over-the-Air* e *Over-the-DS* [34]. Os métodos

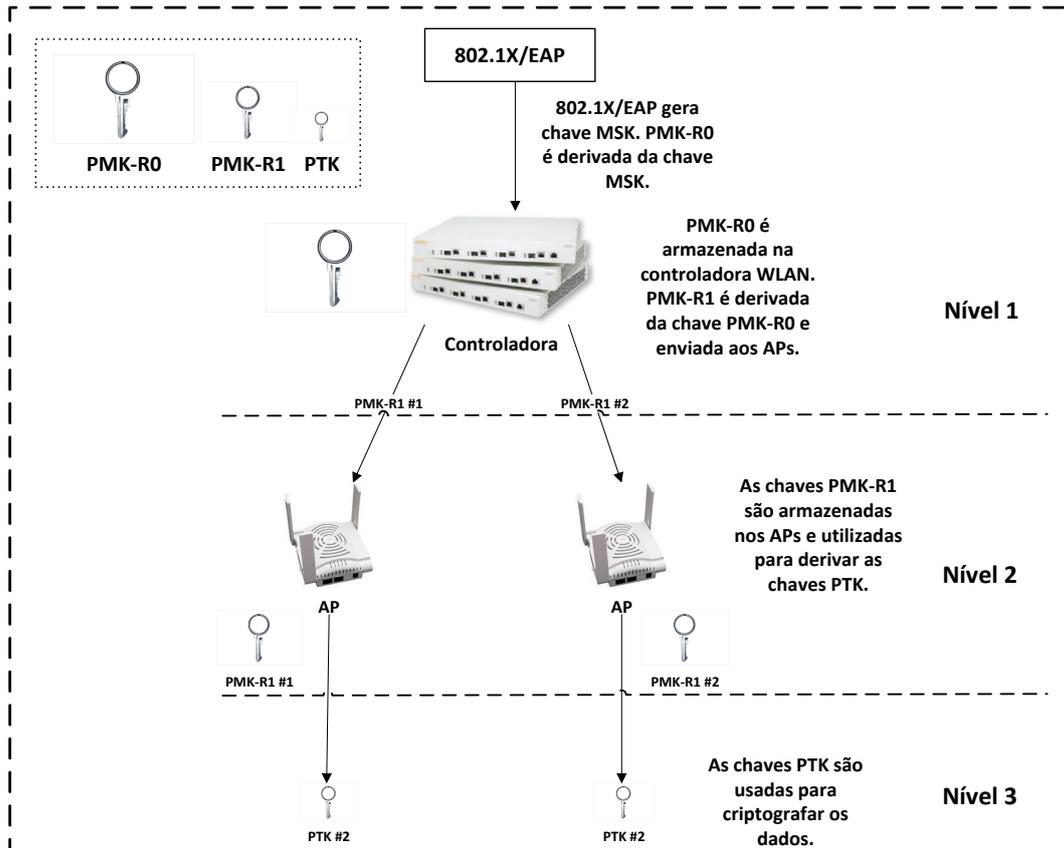


Figura 2.6: Hierarquia de chaves IEEE 802.11r
(Adaptado de [31])

conseguem de forma eficaz combinar a quantidade de mensagens trocadas no processo autenticação, reassociação e 4-Way Handshake, diminuindo a quantidade de mensagens e consequentemente o tempo de transição [16].

- **Over-the-Air:** o dispositivo móvel interage diretamente com o ponto de acesso de destino, trocando as informações necessárias para a reassociação sem intermediários, como é possível observar na Figura 2.7;
- **Over-the-DS:** o dispositivo móvel utiliza o ponto de acesso de origem para trocar informações de reassociação com o ponto de acesso de destino por meio do DS. Como é possível observar na Figura 2.8, as mensagens FT Request e FT Response são enviadas utilizando o método em questão. Para as mensagens de reassociação Request/Response, estas são enviadas por meio do método Over-the-Air;

Por meio dos guias de referência [63] e [62], não foi possível identificar qual(is) método(s) a solução de rede sem fio implantada na UnB disponibiliza para configuração, apenas explica como configurar o padrão IEEE 802.11r na rede. Segundo Coleman [16],

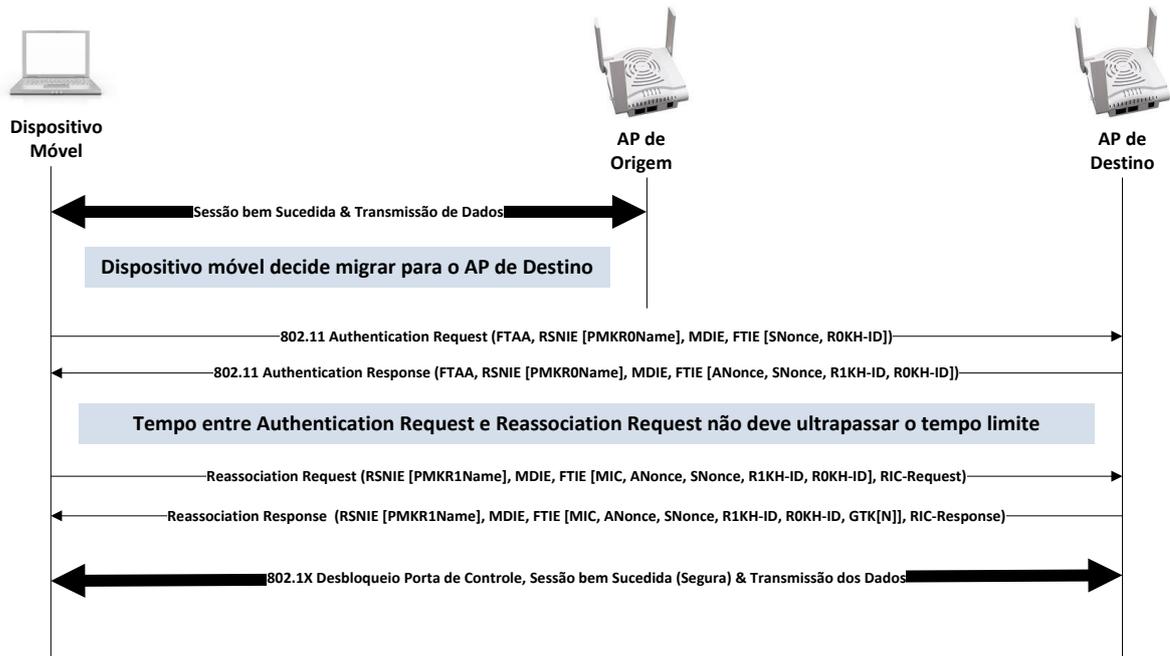


Figura 2.7: Processo *Over-the-Air*
(Adaptado de [34])

a emenda 802.11r não detalha como são realizadas as trocas de chaves entre as controladoras *wireless*, deixando a implementação do processo de *handover* a cargo do fabricante. Esse fato se comprova na solução existente da UnB, onde se encontra descrito em seus manuais [63] e [62], que a tecnologia funciona em controladoras individuais. Ou seja, a tecnologia não irá atuar nos casos em que o cliente móvel venha a executar o processo de transição em que os APs (origem e destino) estejam sendo gerenciados por controladoras distintas.

2.5 Resumo Conclusivo

O capítulo apresentou uma breve explicação sobre os principais tipos de redes sem fio, dando ênfase à rede WLAN, padrão IEEE 802.11. Fora abordado sua evolução, formas de autenticação, mobilidade e padrões desenvolvidos para auxiliar serviços sensíveis ao atraso mediante mobilidade. O próximo capítulo tem o propósito de realizar um estudo sobre a tecnologia de Voz sobre IP (VoIP, do Inglês, *Voice over IP*), visando apresentar protocolos envolvidos, fatores que influenciam na qualidade de serviço, técnicas e metodologias utilizadas para aferir a qualidade da voz em redes VoIP, entre outros.

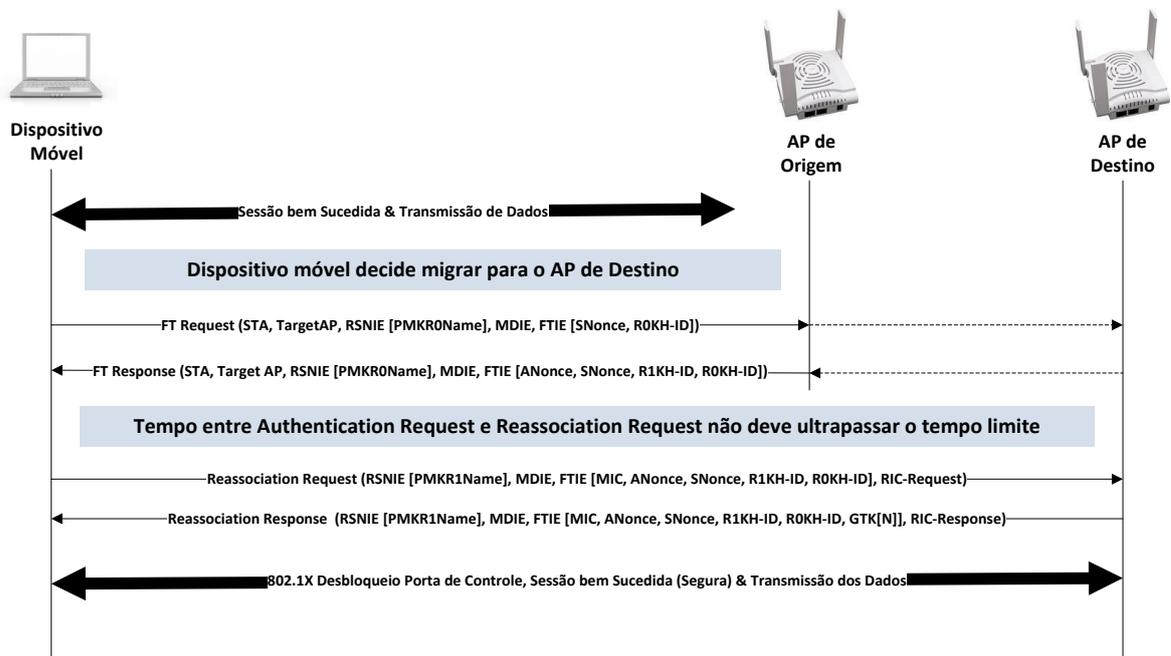


Figura 2.8: Processo *Over-the-DS*
(Adaptado de [34])

Capítulo 3

Voz sobre IP

Este capítulo tem o objetivo de realizar um estudo com respeito à tecnologia de Voz sobre IP, ilustrando os principais cenários de comunicação, tecnologias utilizadas na digitalização da voz e protocolos envolvidos. Uma vez que a natureza das redes comutadas por pacotes não garantem qualidade de serviço, vê-se a necessidade de se estudar sobre os principais fatores que afetam a qualidade de serviço VoIP, técnicas utilizadas para mensurar a qualidade auditiva da voz, além dos desafios encontrados no serviço de Voz sobre WiFi (VoWiFi, do Inglês, *Voice over Wi-Fi*).

3.1 Tecnologia VoIP

De acordo com Davidson [21], a primeira transmissão de voz foi concretizada em 1876 por meio de dois dispositivos (sem dígitos de discagem) conectados por um fio, em que a voz era transmitida em um sentido. Com o passar do tempo, a rede de telefonia experimentou avanços significativos, como: eliminação das linhas diretas e dedicadas, avançando para redes baseadas em comutação de circuitos, migração da infraestrutura de analógica para digital, entre outras. Esta rede é conhecida como Rede Pública de Telefonia Comutada (RPTC), que perdura por mais de cem anos e oferece boa qualidade de serviço aos clientes. Basicamente, a RPTC é formada por quatro elementos: terminal do assinante, *local loop*, centrais de comutação e *trunk* [73]. A Figura 3.1 apresenta a arquitetura RPTC e seus elementos.

1. **Terminal do Assinante:** telefone do assinante, composto de teclado para a realização das chamadas;
2. **Local Loop:** linha telefônica que interliga os assinantes às centrais telefônicas;
3. **Centrais de Comutação:** responsáveis por encaminhar as chamadas do assinante de origem ao de destino;

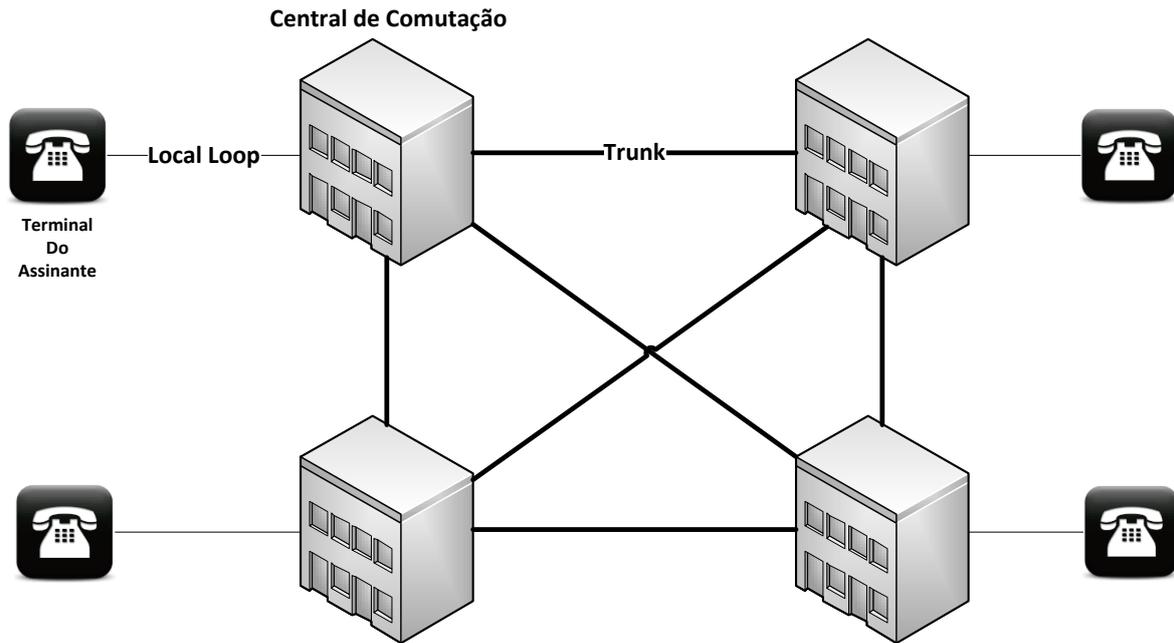


Figura 3.1: Elementos básicos RPTC
(Adaptado de [73])

4. **Trunk:** responsáveis por interligar as centrais de comutação.

Este tipo de tecnologia utiliza conexão dedicada, que permanece durante toda a comunicação até que um dos interlocutores finalize a chamada. A largura de banda utilizada no circuito para a comunicação de voz torna-se indisponível para outros tipos de serviço, não sendo possível convergir dados multimídia. A pilha de protocolos TCP/IP (do Inglês, *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) está sendo usada para superar estas deficiências [70].

No ano 1999 observou-se que a quantidade de tráfego de dados igualou-se ao de voz. Em 2002 esse volume já superava o tráfego de voz, crescendo exponencialmente a cada ano. Fato que motivou as operadoras que trabalhavam com redes de comutação de pacotes a transmitir voz sobre as redes de dados, sendo necessária baixa largura de banda. Para isso havia a necessidade de tecnologias que permitissem a transmissão e integração das funcionalidades da rede de telefonia e a rede de dados [86].

A tecnologia de Voz sobre IP (VoIP) surgiu com este objetivo, transportar voz sobre o protocolo IP [14]. Desde meados do ano de 1995, essa tecnologia vem se consolidando no mercado de telecomunicações, onde a cada dia percebe-se o aumento do número de serviços para este ambiente. Cabe ressaltar que, no sistema de telefonia tradicional, a adoção de novos serviços implica na aquisição de novos equipamentos, ao contrário do que ocorre com VoIP. Além dessa vantagem, podemos citar: mobilidade, custo reduzido

nas comunicações, maior facilidade na manutenção e gerenciamento da rede, dentre outras [9].

Segundo Colcher [14], existem alguns cenários de comunicação VoIP. São eles:

1. **Computador a Computador:** cenário básico em uma rede de comunicação VoIP, sendo necessário um computador com placa de som e *software* de comunicação, como por exemplo, *X-Lite* [19]. A Figura 3.2 ilustra o cenário;
2. **Computador a STFC:** para o uso da tecnologia VoIP neste cenário, o usuário precisa de um provedor de serviço, o qual possibilitará a comunicação de voz com a rede pública de telefonia. A Figura 3.3 apresenta o cenário;
3. **Adaptador ATA a STFC:** outra forma de comunicação é por meio de adaptadores ATA, que se acoplam aos aparelhos convencionais, como é possível visualizar na Figura 3.4;
4. **Telefone IP a STFC:** o método utiliza um aparelho IP, o qual se conecta a um roteador ou modem, que permitirá sua comunicação via *Internet*. Este deve estar autenticado em um provedor de serviço para que a chamada chegue até a rede pública de telefonia. A Figura 3.5 apresenta o cenário.

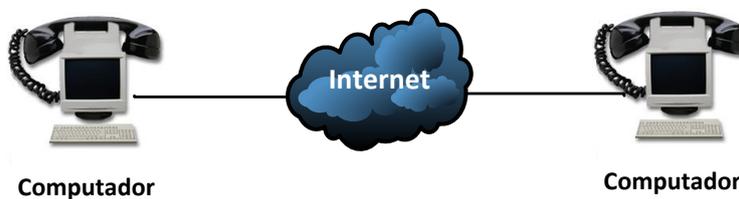


Figura 3.2: Computador a Computador
(Adaptado de [14])

Antes de se estabelecer uma comunicação VoIP, é necessário que a voz passe por um processo de digitalização, conhecido como conversão analógica digital (A/D). Processo que se baseia na amostragem do sinal, quantização das amostras e sua representação quantizada por palavras binárias. Após este processo, são utilizadas técnicas de compactação da voz mediante os codificadores–decodificadores (CODEC). Já codificada, a voz é empacotada e transmitida por meio da rede de dados ao destino [73]. A Figura 3.6 ilustra a arquitetura básica de um sistema VoIP.

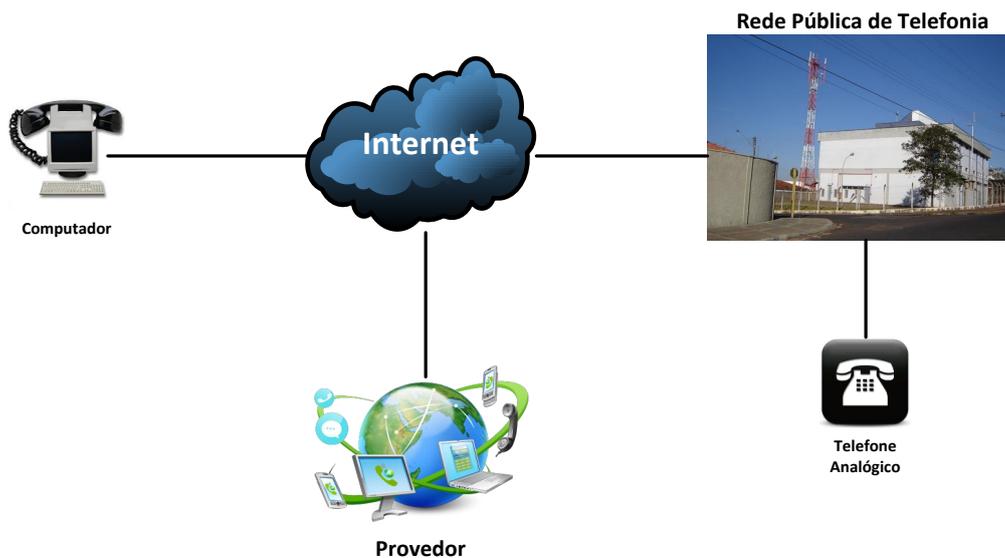


Figura 3.3: Computador a STFC
(Adaptado de [14])

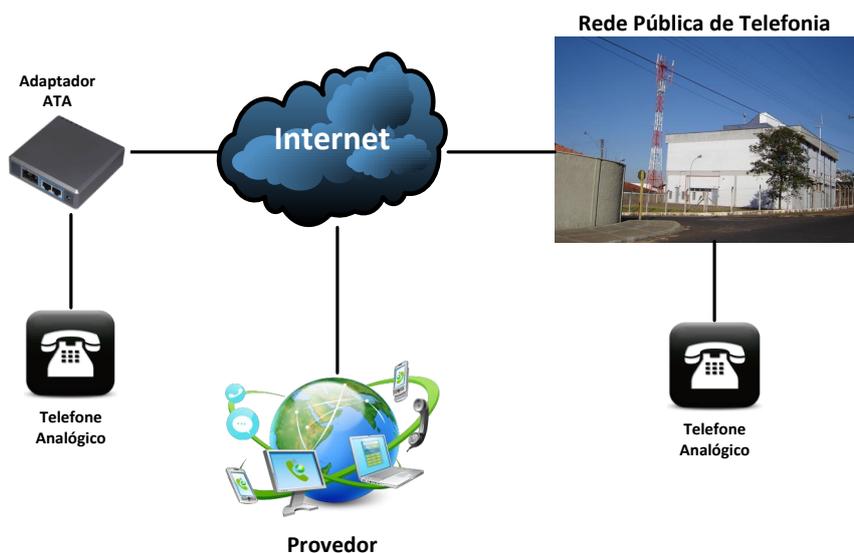


Figura 3.4: Adaptador ATA a STFC
(Adaptado de [14])

3.1.1 CODECs

Até os dias atuais, a largura de banda tem sido um recurso escasso, onde esforços têm sido realizados para minimizar a banda utilizada por certos tipos de serviços, a fim de que a rede seja capaz de servir a um maior número de usuários. Neste contexto, a compressão de voz tem sido um desafio, ou seja, comprimir os sinais de voz mantendo níveis aceitáveis de qualidade [43].

Os codificadores–decodificadores têm o objetivo de reduzir a largura de banda utilizada

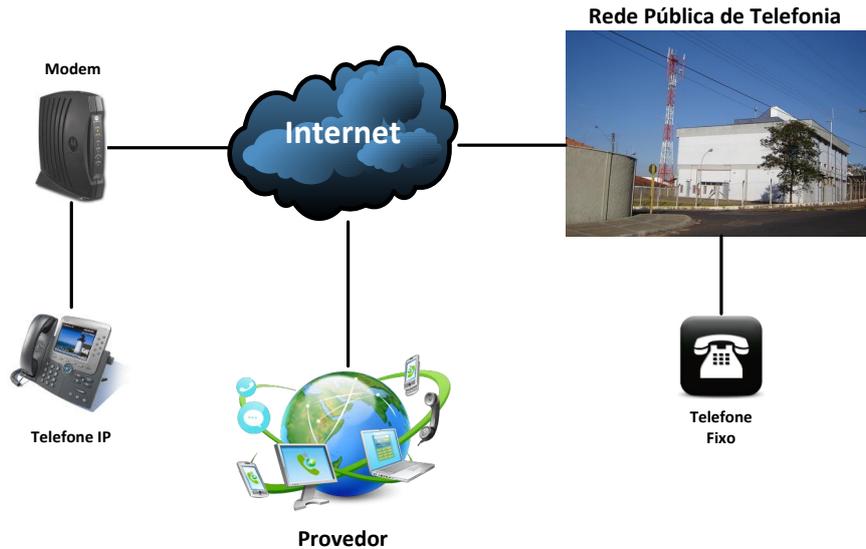


Figura 3.5: Adaptador telefone IP a STFC
(Adaptado de [14])

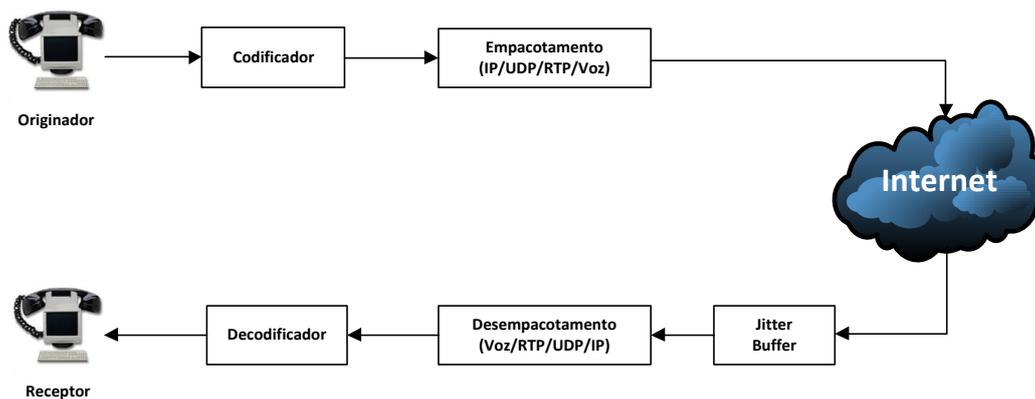


Figura 3.6: Arquitetura básica – VoIP
(Adaptado de [70])

na transmissão da voz, os quais especificam como os sinais analógicos da voz devem ser codificados em dados digitais. Os dados são comprimidos, onde informações redundantes e previsíveis são eliminadas. Algoritmos e técnicas complexas de codificação (compressão) são usados para tentar reduzir a taxa de bits despendida para representar os sinais de voz com o menor prejuízo possível à qualidade do sinal [70] [9].

Como informado anteriormente, os dados passam por um processo de conversão analógico-digital, no qual oito mil amostras são realizadas por segundo de acordo com o teorema de *Nyquist* [73]. Mediante seu teorema, *Nyquist* provou que a quantidade de amostras mencionada anteriormente é suficiente para capturar toda a informação em um canal telefônico com largura de banda de 4 KHz. Ao utilizar uma amostragem menor, informações transmitidas seriam perdidas. Para uma amostragem maior, nenhuma informação adicional

seria acrescentada. Essa técnica é conhecida como PCM (do Inglês, *Pulse Code Modulation*), utilizada no sistema de telefonia tradicional [14] [9]. A Figura 3.7 exemplifica o processo.

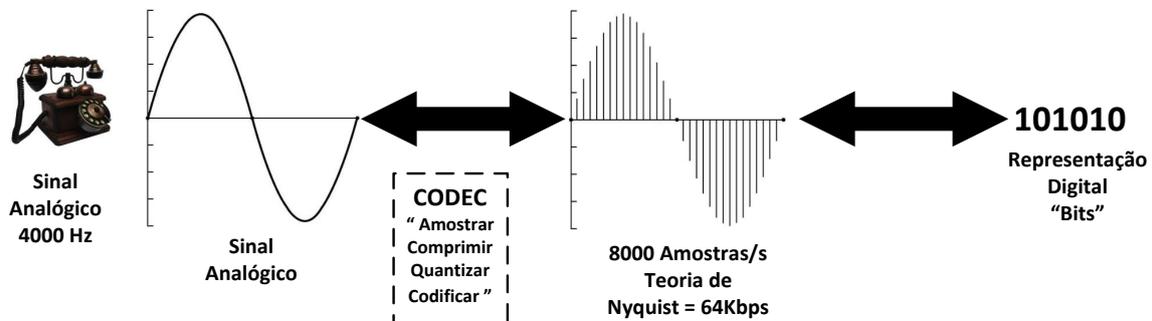


Figura 3.7: Processo PCM
(Adaptado de [71])

Atualmente existem vários tipos de CODECs, que utilizam diferentes algoritmos, complexidade e largura de banda. De acordo com Bispo [8], os CODECs podem ser divididos em três categorias: paramétricos, forma de onda e híbridos. Os codificadores paramétricos modelam o sistema que gera o sinal de voz original e enviam apenas parâmetros deste modelo. Por sua vez, os codificadores em forma de onda fornecem um sinal codificado o mais próximo possível do sinal analógico original, enquanto os codificadores híbridos combinam as duas técnicas anteriores.

A Tabela 3.1 exhibe alguns CODECs existentes no mercado para compressão de áudio. Cabe lembrar que os CODECs G711 (*A-law*), Speex e iLBC serão avaliados no escopo deste trabalho, utilizando a infraestrutura de rede sem fio da UnB.

Tabela 3.1: CODECs
(Adaptado de [43])

CODEC	Algoritmo	Taxa de Compressão (Kbps)
G.711	PCM	64
G.723	MP-MLQ	5,6 e 6,3
G.726	ADPCM	16/24/32/40
G.728	LD-CELP	16
G.729	CS-CELP	8
iLBC	LPC	15,2
Speex	CELP	2,15–24,6

Após a codificação da voz, para o estabelecimento de uma comunicação utilizando a tecnologia VoIP, faz-se necessário o uso de protocolos. Estes são os responsáveis por

iniciar/terminar a comunicação e transportar os pacotes de voz do originador da chamada ao receptor.

3.1.2 Protocolos VoIP

Esta seção faz um estudo sobre os protocolos de transporte e sinalização. Inicialmente será apresentado o protocolo de sinalização mais utilizado na atualidade para o estabelecimento de chamadas VoIP, o protocolo SIP (do Inglês, *Session Initiation Protocol*) [78]. Esse protocolo fora desenvolvido pela IETF (do Inglês, *Internet Engineering Task Force*), o qual objetiva iniciar, modificar e terminar sessões multimídia [78]. Em seguida, será realizada uma abordagem sobre os protocolos de transporte de mídia, o RTP/RTCP (do Inglês, *Real-Time Transport Protocol/RTP Control Protocol*) [80].

Protocolo SIP

O protocolo SIP começou a ser desenvolvido em meados de 1995 pela IETF e em 1999 foi proposta a sua primeira versão, o SIPv1, descrito na RFC 2543 (obsoleta). Atualmente, este protocolo encontra-se em sua segunda versão, publicada em junho de 2002 (SIPv2, RFC 3261) [82]. O SIP foi inspirado em protocolos baseado em texto, como por exemplo, o protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*). Uma de suas principais vantagens é a forma de endereçamento dos pontos finais, que utiliza modelo similar ao de um *e-mail*: **sip:claudio@voip.unb.br** (**claudio** – nome do usuário e **voip.unb.br** – domínio onde o usuário encontra-se registrado) [10].

SIP é um protocolo da camada de aplicação que possui uma implementação simples baseado em uma arquitetura cliente–servidor, podendo operar sobre TCP ou UDP (*User Datagram Protocol*). Não é o único utilizado em uma comunicação VoIP. Outros protocolos com objetivos específicos auxiliam na comunicação. A Figura 3.8 ilustra a pilha de protocolos VoIP divididos por finalidade [20].

Rosenberg[78] e Margit [10] relatam que um sistema SIP pode ser visto como componentes distintos. Basicamente, os elementos SIP são: *User Agents*, *Registrar*, *Proxy Server*, *Redirect Server*.

- **User Agents** – UA: são terminais que utilizam o protocolo SIP para se localizarem e negociarem características da sessão. Os UA, como são chamados, geralmente residem nos computadores dos usuários, mas não necessariamente. Um UA é uma entidade que pode atuar de duas formas: como UAC (do Inglês, *User Agent Client*), o qual se encarrega de enviar as requisições e receber as respostas; e como UAS (do Inglês, *User Agent Server*), encarregando-se de receber as requisições e enviar as respostas. Ex.: telefones IP, *softphones*, entre outros;

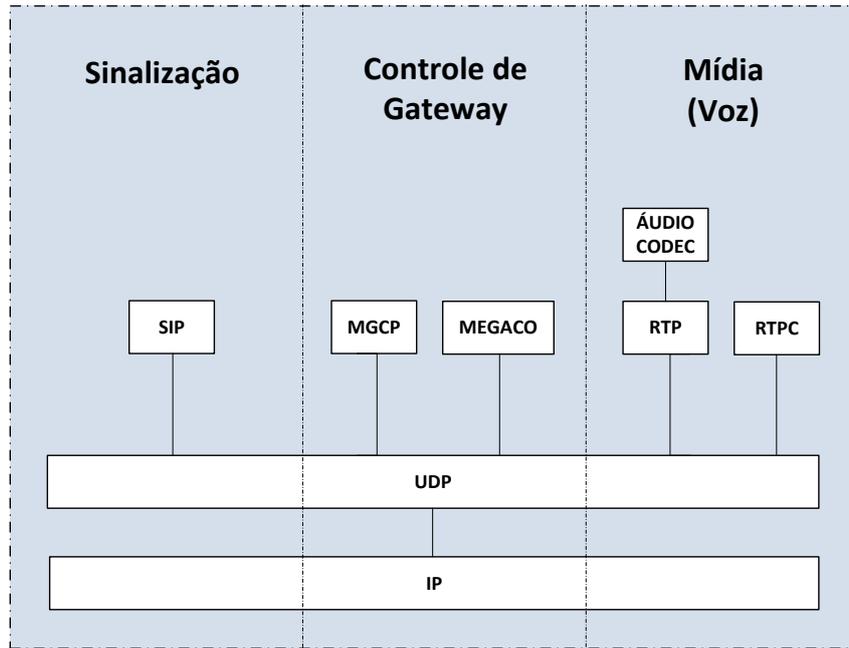


Figura 3.8: Pilha de protocolos VoIP
(Adaptado de [20])

- **Registrar**: entidade SIP que recebe requisições de registro (*REGISTER*) do usuário, extraíndo informações sobre a localização atual do mesmo. Útil no momento em que outro SIP *Proxy* esteja à sua procura para estabelecimento de uma sessão multimídia com um de seus clientes. Dentre as informações extraídas, destacam-se as seguintes: endereço IP, número da porta e nome do usuário;
- **Proxy Server**: também conhecido como SIP *Proxy* dentro do contexto SIP, é uma entidade intermediária que atua como cliente/servidor, recebendo requisições de um cliente e encaminhando-as até seu destino. Sua função principal é o roteamento das solicitações para estabelecimento de sessões multimídia, sendo antes verificadas a localização do chamador, autenticação, autorização, dentre outras, como a disponibilidade de banda;
- **Redirect Server**: entidade servidora que recebe uma requisição do cliente e gera uma resposta do tipo 3XX (XX – 00 a 99), contendo uma lista da localização atual do usuário com o qual se quer estabelecer uma sessão multimídia. Após o recebimento da resposta enviada pelo *Redirect Server*, o cliente extrai a lista de localizações e envia outra requisição, agora aos destinos da lista. Cabe lembrar que o *Redirect Server* não encaminha a sinalização como o SIP *Proxy* faz.

Para que exista comunicação entre os elementos que fazem parte de uma comunicação SIP, há a necessidade de troca de mensagens para estabelecimento da chamada entre os

usuários. Cada mensagem é transportada separadamente em datagramas UDP, onde cada uma delas consiste de uma primeira linha contendo o tipo da mensagem, cabeçalho e o corpo da mensagem. As mensagens estão divididas em dois tipos: requisição e resposta [14]. As Tabelas 3.2 e 3.3 ilustram as mensagens de requisição (SIP *Requests*) e resposta (SIP *Responses*), respectivamente.

Tabela 3.2: Mensagens de Requisição SIP
(Adaptado de [82])

Mensagem	Descrição
<i>INVITE</i>	Convite de participação de uma sessão
<i>ACK</i>	Resposta final de uma requisição <i>INVITE</i>
<i>BYE</i>	Solicitação de término de uma sessão
<i>REGISTER</i>	Registro de informação de um cliente
<i>CANCEL</i>	Prévia requisição de cancelamento de sessão
<i>OPTIONS</i>	Consulta a servidores a respeito de suas capacidades

Tabela 3.3: Mensagens de Resposta
(Adaptado de [82])

Tipo	Descrição	Exemplo
100	Resposta informativa	180 <i>Ringing</i>
200	Resposta de sucesso	200 <i>OK</i>
300	Resposta de redirecionamento	302 <i>Moved Temporarily</i>
400	Resposta de falha de requisição	404 <i>Not Found</i>
500	Resposta de falha em servidor	503 <i>Service Unavailable</i>
600	Resposta de falha global	600 <i>Busy Everywhere</i>

A Figura 3.9 apresenta o estabelecimento de uma sessão ponto a ponto SIP. O terminal A envia uma mensagem de requisição *INVITE* ao terminal B com o propósito de convidá-lo a participar de uma sessão multimídia. O terminal B recebe a requisição e retorna uma resposta do tipo 100 *Trying* (indicando que a requisição para estabelecimento de uma sessão multimídia foi recebida) e 180 *Ringing* (indica qual padrão de CODEC de mídia foi selecionado e qual porta o agente B receberá o *streaming* RTP) e um 200 *OK* (aceitou o estabelecimento de uma sessão com terminal A). Ao receber resposta de confirmação do terminal B, o terminal A envia um *ACK* confirmando o recebimento de uma resposta final (200 *OK*) e estabelece-se a sessão. Após o tráfego multimídia, o terminal B deseja encerrar a sessão e envia uma requisição *BYE*. O terminal A, por sua vez, responde confirmando o término da sessão por meio da mensagem 200 *OK*.

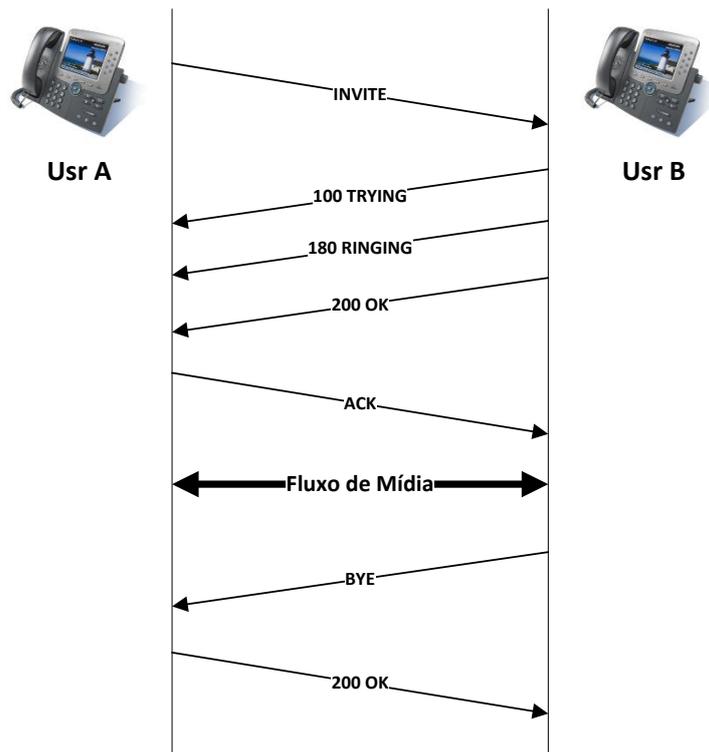


Figura 3.9: Sessão SIP
(Adaptado de [82])

O protocolo SIP cumpre a função de iniciar, modificar e terminar sessões multimídia como mencionado anteriormente, mas necessita de outro método para transmissão do áudio, dado ao RTP/RTCP a função de transmiti-lo.

Protocolo RTP e RTCP

Os protocolos RTP e RTCP foram desenvolvidos pela IETF e estão definidos na RFC-3550 [81]. Estes trabalham em conjunto e são executados sobre o protocolo de transporte UDP. O RTP tem o objetivo de prover transporte de dados multimídia fim-a-fim em tempo real, como áudio e vídeo, e não tem suporte à qualidade de serviço, isto é, não existe garantia na entrega dos pacotes. Além disso, o RTP não tem qualquer controle de fluxo e de erros, confirmação de chegada dos pacotes e nenhum mecanismo de retransmissão. Seus pacotes são identificados por um número de sequência, o qual permite descobrir se algum deles foi perdido [80].

O RTP faz uso do protocolo RTCP para monitorar a qualidade de serviço e o transporte de informações úteis, como atraso, variação do atraso (do Inglês, *jitter*) e perdas de pacotes em um fluxo RTP, além de prover informações relacionadas as funções de controle de fluxo e congestionamento, transportar informações de controle de sessão utilizadas para identificar a sessão dos participantes, entre outros [10] [80]. A Figura 3.10 ilustra o

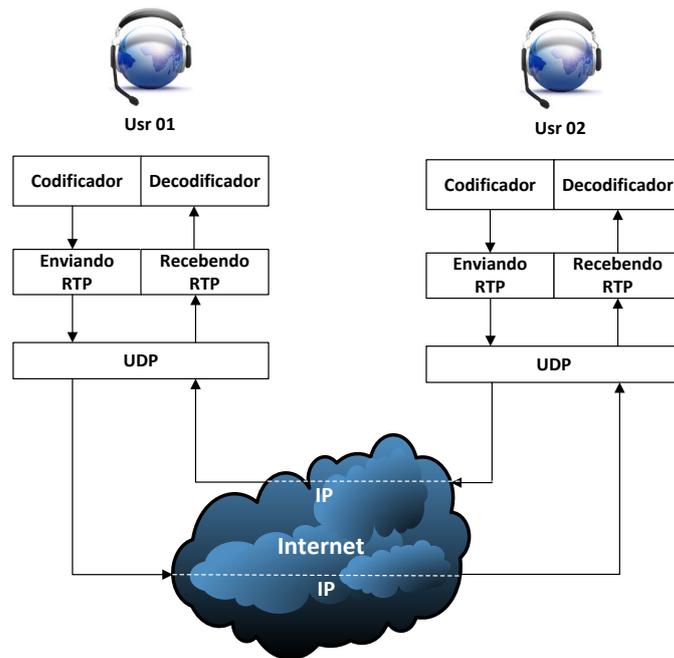


Figura 3.10: Diagrama RTP
(Adaptado de [80])

diagrama de uso do protocolo RTP. Como é possível observar, voz e vídeo são digitalizados mediante um CODEC específico. Os bits são encapsulados em pacotes RTP, logo após pelo protocolo UDP e IP. O processo inverso ocorre quando os pacotes de voz chegam ao destino.

Aplicações de tempo real têm características mais restritivas que as demais aplicações de dados, pois necessitam de uma transmissão correta das mensagens e sincronização entre a origem e o destino para que se tenha qualidade de serviço [49]. Tais aplicações são sensíveis a atraso, *jitter* e a perda de pacotes. Desta forma faz-se necessário o estudo dos principais fatores que degradam a qualidade de serviço da tecnologia VoIP.

3.1.3 Fatores que Impactam na Qualidade de Serviço em VoIP

VoIP é uma tecnologia de tempo real que por sua natureza exige que alguns parâmetros da rede comutada por pacotes estejam dentro de um limiar para que se tenha qualidade de serviço. Aplicações em tempo real geralmente possuem um tempo máximo para a chegada de seus pacotes, onde longos atrasos degradariam a qualidade de serviço da aplicação. Atraso, *jitter* e perda de pacotes são os principais fatores de degradação da qualidade do sinal em uma comunicação VoIP. Chen [12] recomenda alguns valores para os parâmetros que influenciam na qualidade da comunicação, conforme mostra a Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Parâmetros de Qualidade de Voz
(Adaptado de [12])

Atraso	< 150 ms
Jitter	< 30 ms
Perda de Pacotes	< 1%

Atraso

De acordo com Horak [32], o atraso pode ser definido como o tempo que a voz leva para ir do emissor até o receptor, ou seja, desde o momento em que ela é pronunciada e codificada até a decodificação do áudio para que a mesma possa ser ouvida. A recomendação G.114 [41], elaborada pela ITU-T (do Inglês, *International Telecommunication Union*) [38], especifica um tempo aceitável para o atraso, inferior a 150 ms, para conversa iterativa, como mencionado anteriormente. Dentre as possíveis causas de atraso, podemos destacar:

- Filas nos ativos de rede;
- *Buffer* de *jitter*;
- CODECs;
- Serialização do pacote IP;
- Tempo de propagação dos pacotes na rede.

Jitter

O *jitter* é a variação do atraso, o qual ocorre nas redes comutadas por pacotes. Em aplicações de tempo real, o atraso constante em uma conversação pode ser tolerado quando mantido dentro de certo intervalo. Quando os atrasos começam a variar, a comunicação se torna incompreensível, gerando muitas vezes vozes metalizadas e prejudicando a qualidade auditiva da voz. Uma das formas encontradas para amenizar a variação do atraso é a utilização de uma fila de compensação, também conhecida como *buffer* de *jitter* [43].

Perda de Pacotes

A perda de pacotes é um dos grandes problemas enfrentados pela tecnologia VoIP. Geralmente as perdas são atribuídas aos congestionamentos dos *buffers* nos ativos de rede, prioridade de pacotes, erros no meio físico, dentre outros. Em aplicações que não são sensíveis ao atraso, como por exemplo, transferência de arquivos, o problema pode ser

resolvido por meio da retransmissão dos dados, o que para o serviço de voz é inadmissível [70]. Para que se tenha boa qualidade auditiva da voz em uma comunicação VoIP é necessário que se tente cumprir os valores descritos na Tabela 3.4.

Visto os fatores supracitados influenciarem diretamente na qualidade de serviço de aplicações sensíveis ao atraso, como VoIP, métodos de aferição da qualidade auditiva da voz foram criados e serão discutidos na Seção 3.2.

3.2 Métodos de Avaliação da Qualidade Auditiva da Voz

A qualidade de serviço em telefonia, basicamente, está relacionada à nitidez da voz. Quando utilizamos a telefonia como forma de comunicação entre duas pessoas, primeiramente o que se deseja é poder escutar de forma clara e audível a pessoa com quem se está comunicando. Algumas recomendações para medida de qualidade da voz em sistemas telefônicos foram especificadas pela ITU-T [38], como por exemplo: P.800 (modelo subjetivo) [40], que define o método MOS (do Inglês, *Mean Opinion Score*) [40] e o G.107 (modelo objetivo) [42], que define o método E-Model [42]. Este último utilizado no escopo deste trabalho.

3.2.1 Método Subjetivo

A recomendação ITU-T P.800 [40] descreve métodos e procedimentos a serem utilizados na avaliação subjetiva da qualidade da voz em sistemas de telefonia. Os métodos indicados têm aplicações genéricas, podendo analisar perda, ruído de circuito, erros de transmissão, eco, etc. As medidas são derivadas da avaliação de várias amostras de voz pré-selecionadas em meios de transmissão diferentes. As vozes são reproduzidas sobre condições controladas para um grupo de pessoas (homens e mulheres) que avaliam sua qualidade com base em uma escala numérica, como mostra a Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Avaliação Subjetiva
(Adaptado de [40])

Pontuação	Qualidade Auditiva
5	Excelente
4	Bom
3	Razoável
2	Pobre
1	Ruim

Na realização de testes de qualidade de voz utilizando o método subjetivo devem-se avaliar diversos fatores, como: variação do nível de entrada do sinal a ser codificado, ocorrência de erros no canal de operação do CODEC, possível ocorrência de múltiplas transcódificações, diversidade de locutores, presença de ruído ambiente em níveis variados, atraso introduzido pela codificação, dentre outros [40].

Conforme Marinho [52], o modelo de análise subjetivo ainda é utilizado, mas seu custo, complexidade e tempo demandado motivam fortemente a busca de métodos eficazes para a realização de medidas objetivas que estimem a qualidade subjetiva de maneira eficiente.

3.2.2 Método Objetivo

Os métodos objetivos utilizam recursos computacionais para inferir a qualidade de voz submetida a um sistema de transmissão e/ou a um codificador de áudio, como exemplo temos o modelo E-Model [52]. Este modelo foi a princípio proposto pelo ETSI (do Inglês, *European Telecommunications Standards Institute*) [25] e posteriormente padronizado pelo ITU-T por meio da recomendação G.107. Modelos objetivos são baseados em fórmulas matemáticas que procuram estimar o MOS o mais próximo possível das avaliações subjetivas. Souza [83] enfatiza que o Modelo E adapta-se tanto à telefonia tradicional quanto às redes multimídias modernas.

O modelo de aferição E-Model [42] considera a variação de imperfeições da banda telefônica, em particular baixas taxas de CODECs, atrasos, perdas, distorções e ecos. Visto isso, esse modelo pode ser aplicado para avaliar a qualidade da voz em redes cabeadas ou sem fio, em tecnologias baseadas em circuitos ou comutadas por pacotes. Ele se baseia na suposição de que cada tipo de degradação da qualidade da voz está associado a um tipo de fator degradante, denominado fator R. O fator R varia de 0 (péssimo) a 100 (excelente), podendo ser convertido para a escala MOS por meio da expressão [42]:

$$\text{MOS} = \begin{cases} \text{Para } R < 0 & : \text{ MOS} = 1 \\ \text{Para } 0 < R < 100 & : \text{ MOS} = 1 + 0,035R + R(R - 60) * (100 - R) * 7.10^{-6} \\ \text{Para } R > 100 & : \text{ MOS} = 4,5 \end{cases}$$

O Fator R está descrito em categorias de valores, como é possível visualizar na Tabela 3.6. Observa-se que valores cujo $R < 70$ comprometem a qualidade auditiva da voz experimentada pelos usuários.

Segundo a ITU-T [42], o fator R é obtido pela seguinte fórmula:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A, \tag{3.1}$$

Tabela 3.6: Categoria de Valores Fator R
(Adaptado de [52])

Fator R	MOS	Satisfação do Usuário
$90 \leq R < 100$	4,34 – 4,50	Muito Satisfeito
$80 \leq R < 90$	4,03 – 4,34	Satisfeitos
$70 \leq R < 80$	3,60 – 4,03	Alguns Insatisfeitos
$60 \leq R < 70$	3,10 – 3,60	Muito Insatisfeitos
$0 \leq R < 60$	1 – 3,10	Quase todos Insatisfeitos

onde:

- **Ro:** representa os efeitos da relação sinal-ruído (SNR);
- **Is:** representa as perdas simultâneas ao sinal de voz;
- **Id:** representa as perdas associadas ao atraso fim-a-fim;
- **Ie:** representa as perdas associadas ao equipamento utilizado;
- **A:** corresponde ao fator de vantagem, ou fator de expectativa.

VoIP é uma tecnologia emergente e que juntamente com as redes Wi-Fi tem ganhado espaço no mercado de telecomunicações. Como estudado na Seção 3.1.3, para que se tenha qualidade em uma comunicação VoIP, é necessário que se cumpra uma série requisitos. A Seção 3.3 realiza um levantamento dos principais problemas encontrados ao se transmitir voz sobre redes Wi-Fi.

3.3 Desafios do Serviço de Voz sobre WiFi – VoWiFi

Segundo Carpenter [85], o termo VoWiFi se refere ao processo de transmissão de voz sobre o protocolo IP em redes padrão IEEE 802.11. A princípio as redes Wi-Fi não foram projetadas para o tráfego de voz, mas devido o seu crescimento, abrangência, baixo custo e mobilidade, têm motivado seus usuários a fazerem uso de serviços de tempo real, como por exemplo, o VoIP [18].

Como visto, umas das motivações em utilizar VoWiFi é poder usufruir de mobilidade. Conforme Conceição [17], mobilidade pode ser encarado como um problema para serviços sensíveis ao atraso, pois o processo de migração entre pontos de acesso pode ser lento, comprometendo aplicações multimídias, como visto na Seção 2.2.2. Para Conceição [17], outros dois fatores podem prejudicar o tráfego de voz sobre redes padrão IEEE 802.11 [36]. O primeiro é o tráfego em rajadas, que pode estar associado a um conjunto de fatores,

como interferências externas, interrupções de processamento, entre outros. O segundo são as interferências, visto a rede Wi-Fi trabalhar com padrões que utilizam frequências não licenciadas, utilizadas por outros dispositivos, como: telefones sem fio, forno de micro-ondas e dispositivos *bluetooth*. Além disso, condições climáticas, organização física dos objetos e orientação das antenas são exemplos básicos que também podem interferir na propagação do sinal.

De acordo com Coleman [15], antes de implantar VoWiFi é necessário que se faça um planejamento anterior da rede sem fio, através de estudos e análises, levando em consideração os principais parâmetros que afetam a tecnologia VoIP, ou seja, perda de pacotes, *jitter* e atraso. Ele enfatiza que o planejamento básico de uma rede que suportará VoWiFi deverá prover basicamente a sobreposição de células entre os pontos de acesso adjacentes e potência de sinal suficiente no processo de *handover*. Além das orientações básicas relatadas por Coleman [15], a IEEE ao longo dos anos tem desenvolvido tecnologias que ajudam a minimizar as interferências e a melhorar a qualidade de serviço de tecnologias sensíveis ao atraso, como descrito na Seção 2.2.

3.4 Resumo Conclusivo

O capítulo apresentou um breve estudo sobre a tecnologia VoIP, abordando os principais cenários de comunicação, tecnologias utilizadas na digitalização da voz e protocolos envolvidos na comunicação. Além disso, foram estudados os principais fatores que afetam a qualidade de serviço em redes VoIP, técnicas e metodologias utilizadas para mensurar a qualidade auditiva da voz e os principais desafios encontrados ao se transmitir voz sobre redes padrão IEEE 802.11. O próximo capítulo apresenta um estudo dos trabalhos científicos relacionados com a pesquisa em questão, os quais dão ênfase ao processo de *handover* e aos padrões IEEE 802.11k e 802.11r, voltados para amenizar as degradações sofridas por serviços sensíveis ao atraso em redes Wi-Fi mediante mobilidade.

Capítulo 4

Estado da Arte

As redes WLAN, padrão IEEE 802.11, foram originalmente pensadas com o objetivo de prover mobilidade ao usuário final [35]. Com o crescimento, evolução das tecnologias e sua abrangência, atualmente as redes padrão IEEE 802.11 têm sido utilizadas para tráfego multimídia, como por exemplo, VoWiFi. Serviço multimídia, como o de Voz sobre IP, necessita que alguns parâmetros como atraso, *jitter* e perda de pacotes estejam de acordo com recomendações para uma boa qualidade nas chamadas telefônicas.

Ao se implantar um novo serviço é de suma importância considerar o impacto da aplicação na rede, principalmente quando tratamos de VoWiFi. Além dos parâmetros supracitados que podem afetar a qualidade da voz em uma comunicação VoIP, o *handover* é outro parâmetro que se incorpora na comunicação de voz sobre redes sem fio, o qual está diretamente associado a mobilidade. Nesta visão, padrões como o IEEE 802.11k [33] e 802.11r [34] foram criados como forma de melhorar o desempenho de aplicações de tempo real no processo de *handover*.

A transmissão de voz sobre redes sem fio mediante mobilidade tem sido objeto de pesquisa, principalmente quando se envolve aplicações multimídia. Dessa forma, doze trabalhos acadêmicos foram selecionados, os quais apresentam correlação com a linha de estudo da proposta em questão. Para um melhor entendimento, os trabalhos selecionados foram divididos em duas seções: avaliações de *handover* em WLAN e padrões IEEE 802.11r e 802.11k.

4.1 Avaliações de *Handover* em WLAN

Os trabalhos científicos inseridos nesta seção apresentam avaliações do processo de *handover*.

- **Abderrahmane Lakas** *et al.* [48]: dado os benefícios da tecnologia VoIP e o rápido crescimento das redes padrão IEEE 802.11, os autores propõem estudar os efeitos do

handover em comunicações VoIP, com foco no impacto causado por esse processo na qualidade auditiva da voz, atraso e *jitter*. De forma minuciosa, Lakas *et al.* [48] fazem um estudo sobre *handover*, abordando os passos, técnicas e procedimentos realizados pelo mesmo, além dos requisitos de QoS para se ter qualidade na transmissão de voz em uma rede VoIP. No total foram realizados sete experimentos em um ambiente sem interferência de outras redes, os quais objetivaram avaliar a relação sinal-ruído, vazão do tráfego, atraso, *jitter*, MOS e a correlação entre eles, todos mediante *handover*. Por meio dos resultados obtidos, Lakas *et al.* [48] concluem, que mesmo não tendo sido levadas em consideração, as fases de autenticação, trocas de informações encriptadas e de QoS, os resultados mostraram que o processo de *handover* impacta na qualidade da voz, mediante o *jitter* e na diminuição da vazão.

- **Patrícia A. Couto** [20]: propõe um estudo de transmissão de voz sobre redes Wi-Fi mediante *handover*, tendo em vista a possível utilização do serviço pelo setor de segurança do campus da UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Conforme explica a autora, um dos principais desafios a ser trabalhado pela comunidade acadêmica é a questão da mobilidade das estações móveis em redes padrão IEEE 802.11. Dentro deste contexto foram realizados experimentos que buscaram avaliar o comportamento da tecnologia VoIP em redes 802.11b com *handover*. Os experimentos foram executados em dois ambientes da UFRN, denominados de *indoor* e *outdoor*, que objetivaram avaliar desempenho dos parâmetros de QoS, como: atraso, *jitter*, vazão e perda de pacotes. Nos experimentos *indoor*, os quais foram divididos em duas fases, ambiente natural e com injeção de tráfego, os resultados estiveram dentro dos valores recomendados na literatura, sem prejuízo para a qualidade auditiva da voz. O cenário *outdoor* visou testar o fator mobilidade em ambiente real, primeiro utilizando um dispositivo móvel para se movimentar entre os APs e depois um automóvel. Os resultados obtidos para o experimento com o dispositivo móvel mostraram que o tráfego injetado na rede não prejudicou os parâmetros que definem a qualidade para serviços multimídia, apesar de alguns deles terem alcançado os valores limites. Ao fazer uso de um automóvel, os resultados mostraram que quanto maior a velocidade empregada, menores os valores de atraso, *jitter*, perda de pacotes e *handover*. A autora finaliza o documento enfatizando a importância de se testar o ambiente antes de se implantar serviços sensíveis ao atraso.
- **Adenilson B. Almeida** [4]: realiza uma avaliação da qualidade da voz em rede Wi-Fi utilizando CODECs G711, G729, G723 e GSM, sendo analisadas características de atraso e perda de pacotes. Além disso, busca-se entender os principais problemas que afetam negativamente a comunicação de voz sobre o padrão 802.11 e como esses

problemas limitam o uso VoWiFi. Para a análise de desempenho dos CODECs, foi utilizada uma bancada de emulação, que permite gerar em uma rede cabeada e controlada as características de uma rede sem fio. Para todos os testes realizados com relação a *jitter*, perda de pacotes e qualidade auditiva da voz, o CODEC G711 foi o que apresentou os piores resultados nos cenários de teste. O autor explica que o fato ocorre devido ao CODEC ter maior *payload* e utilizar maior taxa de transmissão, pois o serviço depende de condições do meio que são afetados pela relação sinal-ruído. O autor conclui que transmitir voz sobre redes sem fio requer o controle de vários fatores, como por exemplo, o ambiente de rede. Visto isso, relata que a escolha do CODEC pode ser um diferencial na busca por qualidade. Métodos de simulação e emulação são formas de se analisar um determinado ambiente, *software*, entre outros, mas acabam não retratando a real situação de um ambiente em específico, como é o caso das redes sem fio, que estão sujeitas a uma variedade de interferências e que nem sempre são tratadas por simuladores e emuladores;

- **Nidhi M. Gambhir** [27]: o trabalho desenvolvido por Gambhir [27] objetiva avaliar o desempenho do modelo E-Model durante o processo de *handover* e propor nova abordagem para calcular a qualidade auditiva da voz durante o processo. O autor faz um apanhado geral sobre a tecnologia VoIP, protocolos envolvidos, CODECs, métodos de se mensurar a qualidade auditiva da voz, além de debater sobre o impacto do processo de *handover* em redes VoIP e performance do modelo E-Model ao mensurar a qualidade auditiva da voz mediante o processo. Gambhir [27] inicia sua avaliação detalhando o modelo E-Model proposto pela ITU-T e realizando experimentos de qualidade de voz por meio dos métodos subjetivo e objetivo. Os experimentos objetivaram apresentar as “deficiências” do modelo E-Model no processo de *handover* e fundamentar o trabalho em questão. Cabe ressaltar que para os testes subjetivos o autor não informou a quantidade de testes realizados, chamadas e pessoas envolvidas no experimento, qualidade auditiva do áudio, dentre outros, como sugere a norma ITU-T P.800 [40]. Tal como para os testes subjetivos, os experimentos realizados mediante o método objetivo careceram de informações mais detalhadas, como: tipo de cliente utilizado, quantidade de experimentos realizados para o cálculo do MOS, infraestrutura utilizada, forma de realização das chamadas, etc. Por meio dos experimentos supracitados, não foi possível encontrar na fundamentação do autor, o ponto em que o modelo E-Model, proposto pela ITU-T, é inexato ao calcular perda de pacotes e atraso durante o processo de *handover*, como o mesmo afirma. Gambhir [27] propõe um modelo com as modificações que julgou necessárias. O modelo fora desenvolvido em *software*, o qual extrai todos os dados necessários da captura de pacotes e apresenta o resultado da qualidade auditiva da

voz fornecido pelo parâmetro MOS. Por meio dos resultados obtidos pelo autor, este conclui que o modelo proposto calcula com maior exatidão o MOS mediante processo de *handover*, além do CODEC G711 ter apresentado melhor desempenho que o iLBC.

- **Imam Prasetyo et al.** [74]: Nesse trabalho, os autores ressaltam a importância de se ter um *handover* suave (do Inglês, *seamless handover*) para que a qualidade de serviço de aplicações multimídia não seja tão afetada com o processo de migração entre os pontos de acesso. Imam et al. [74] propõem cinco métodos de otimização da rede *Wireless* como forma de garantir qualidade de serviço no processo de *handover*: sobreposição entre as áreas de cobertura dos APs, configuração dos APs em somente um domínio de *roaming*, SSID e modo de segurança único, configuração dos APs como DHCP *forwarder* e distanciamento entre os canais do AP de 5 MHz. Para os experimentos, os autores montaram o ambiente de testes baseado nas cinco orientações supracitadas. Estes foram realizados tanto para o tráfego de dados como para o tráfego de voz. Os resultados demonstraram que das três fases do processo de *handover* (*Probe*, *Authentication* e *Re-Association*), a fase de *Probe* é a que tem maior latência, representando 90% do tempo de *handover*, tanto no tráfego de dados, como no de voz. O autor relata que os resultados obtidos mediante as otimizações realizadas foram melhores que os apresentados em trabalhos anteriores, com tempos de *handover* abaixo de 50 ms para o tráfego de voz. Cabe ressaltar no trabalho em questão que a infraestrutura montada não implementa nenhum tipo de segurança de acesso a rede. Redes corporativas utilizam métodos avançados de segurança, que impactam diretamente no tempo de *handover* [31].
- **Syed M. Ali** [3]: com o crescimento das redes sem fio e a utilização da mesma para o tráfego de voz, Syed [3] objetiva realizar um estudo sobre o processo de *handover* nas redes sem fio e o impacto que este processo causa nas redes VoIP. Os experimentos foram executados por meio de três métodos: ambiente real, ambiente simulado, utilizando o sistema *Azimuth*, e *scripts*. O primeiro método foi utilizado para mensurar o tempo de autenticação utilizando *WPA Enterprise*, bem como o impacto que o processo de *handover* causa em diferentes clientes VoIP. O segundo método buscou avaliar dois fatores: o tempo de *handover* em uma rede *wireless* sem e com autenticação utilizando WPA. O terceiro método fora criado com o objetivo de testar apenas o atraso na autenticação do usuário utilizando EAP-TLS. Mediante os resultados obtidos, o autor concluiu que as estações móveis podem ser divididas pelo menos em duas categorias, com respeito aos critérios de limites do *handover* (do Inglês, *Handover Threshold Criteria*) e comportamento de busca. Ele afirma que

de acordo com a particularidade de cada estação móvel, as duas categorias referidas anteriormente afetam o processo de *handover* consideravelmente. Para os experimentos realizados com diferentes clientes e serviços de voz, como MSN *Messenger*, *Skype* e *X-Lite*, o autor conclui que eles apresentaram diferentes comportamentos no processo de *handover*, em que o MSN *Messenger* e *Skype* perderam conexão no processo de migração entre os APs.

- **Ajeet Nankani** [54]: o trabalho realizado por Nankani [54] objetiva estudar o processo de *handover* e examinar sua latência, especialmente em ambientes que utilizam o serviço de AAA (do Inglês, *Authentication, Authorization and Accounting*), além de propor um algoritmo para reduzir o tempo de *handover*. Como embasamento teórico, o autor realiza um apanhado geral sobre a tecnologia WLAN, métodos e funcionamento de protocolos utilizados na segurança das redes sem fio, VoWiFi e uma minuciosa explanação de todo o processo de *handover*. Os experimentos foram realizados em ambiente real, mas devido as dificuldades da época na aquisição de *hardware* que suportasse o padrão 802.11i, fora utilizado o *HostAP Driver* e *Prism 2/2.5/3 chipset*, tanto no cliente, como nos APs. Os experimentos realizados pelo autor se dividiram em três etapas. A primeira etapa buscou avaliar o processo de *handover* com e sem mecanismos de segurança (IEEE 802.11i) configurados na rede sem fio. Nessa etapa, o autor conclui que o tempo que o cliente móvel leva para finalizar o processo de *handover*, estando a rede com o padrão 802.11i habilitado, é cinco vezes maior que estando a rede com o padrão desabilitado. A segunda etapa teve o propósito de identificar perda de pacotes e latência durante o processo de *handover*. De acordo com os resultados apresentados por Ajeet [54], a fase de busca (do Inglês, *scanning*) foi a que apresentou maior perda de pacotes. A terceira etapa objetivou identificar perda de pacote e atraso no processo de *handover* em uma comunicação VoIP. Esta etapa apresentou resultados similares à anterior, com maior perda de pacotes na fase de busca. O autor conclui o trabalho fazendo uma série de sugestões de melhorias direcionadas para as fases que envolvem o processo de *handover*.
- **Ubaid ur Rehman** [77]: com a disponibilização de rede Wi-Fi nas vias da cidade de Paris, Ubaid [77] objetiva avaliar a viabilidade de disponibilização de serviços móveis com a cobertura do sinal da rede existente e verificar se a rede possibilita aos usuários em mobilidade um *handover* suave, ou seja, tempo baixo de migração. Para lograr os objetivos do trabalho, o autor coletou a quantidade de APs e usuários, mensurou a potência do sinal e localização dos APs, além da utilização dos canais. Os experimentos foram divididos em duas partes, *site A* (com 3.9 km) e *site B*

(com 4.5 km). Para a coleta dos resultados, o autor utilizou a técnica conhecida como *Warwalking*. Ubaid [77] considerou valores de SNR acima de 30 dB como boa qualidade do sinal na análise dos resultados. Levando em conta a consideração anterior, o autor relata haver 99% de cobertura da rede Wi-Fi em ambos os sites, concluindo ter cobertura suficiente para oferecer serviços móveis. Quantidade de APs e APs candidatos a *handover* foram quantificados, levando o autor a concluir ser número suficiente para que os usuários realizem o processo de *handover* sem perder conexão. Baseado nas análises, mensurações e resultados, o autor assume ser possível por meio da rede Wi-Fi de Paris proporcionar *handover* suave para serviços como VoIP.

- **Ilias Tsompanidis et al.** [89]: o trabalho elaborado por Ilias et al. [89] objetiva realizar uma comparação estatística das chamadas VoIP mediante diferentes situações: durante o processo de *handover* e condições de tráfego de fundo no AP. Os autores comentam existir estudos com respeito ao desempenho de taxa de transferência, *jitter*, latência e perda de pacotes utilizados para quantificar o desempenho da rede em diferentes condições. Nenhum que realize uma análise estatística do impacto das condições existentes na rede de acordo com a qualidade percebida pelo usuário. Os experimentos foram divididos em diferentes cenários com o objetivo de diferenciar as condições da rede. Por meio dos resultados foi possível observar que tanto para as condições impostas à rede, quanto para o tipo de CODEC utilizado, assim como a iteração entre eles, produzem resultados significativos nos valores gerados pela ferramenta PESQ MOS [39]. Visto o modelo PESQ e *E-Model* terem sido utilizados para mensurar a qualidade auditiva do áudio, os autores mostraram estatisticamente, através a técnica *T-Student*, haver diferenças significativas entre os resultados obtidos para o MOS. Os autores ainda concluíram que o CODEC AMR 12.2 Kb/s foi o que melhor se comportou nas condições impostas à rede. No que diz respeito à diferença entre os resultados obtidos entre os modelos PESQ e *E-Model* com relação ao MOS, cabe ressaltar que a avaliação realizada pelo PESQ mensura a qualidade auditiva da voz em somente um sentido, desconsiderando fatores de degradação, como o atraso total, o que pode ter levado à diferença nos resultados entre as técnicas [83].

4.2 Avaliações dos Padrões IEEE 802.11r e 802.11k

Esta seção apresenta trabalhos científicos que realizam estudos sobre os padrões IEEE 802.11k e 802.11r, amenizando os problemas causados pelo processo de transição do dispositivo móvel entre BSS.

- **Hassan Ahmed *et al.*** [2]: com o crescimento das redes padrão IEEE 802.11 e o interesse da utilização desse tipo de rede para aplicações multimídias em tempo real, Ahmed *et al.* objetivaram estudar o desempenho do padrão 802.11r. Os autores iniciam o trabalho enfatizando que o tempo de *handover* é uma das questões mais importantes a serem abordadas em WLANs. Com isto, fazem uma revisão do processo de *handover* com e sem o padrão IEEE 802.11r habilitado na rede. Os experimentos buscaram avaliar o padrão 802.11r em uma mesma ESS. O ambiente foi configurado no modo infraestruturado, com estações estacionárias e móveis, todas transmitindo voz. Os resultados demonstraram que o cliente móvel, ao realizar o processo de *handover* com o padrão IEEE 802.11r habilitado na rede, os valores estiveram abaixo de 50 ms. Ao desabilitar o padrão, o tempo foi superior a 500 ms. Outro fato salientado por Ahmed *et al.* [2] foi com relação a uma maior perda de pacotes no processo de *handover* sem o padrão IEEE 802.11r aplicado na rede. Fato justificado pelos autores devido a um maior tempo de migração do usuário entre os APs. O autor conclui o trabalho relatando que mediante o padrão IEEE 802.11r é possível diminuir o tempo de *handover* e com isso prover qualidade de serviço para aplicações sensíveis ao atraso. Cabe ressaltar no trabalho realizado por Ahmed *et al.* [2] uma das suposições realizadas, como não haver perdas entre o link que interliga os APs ao sistema de distribuição. Vale lembrar que os pacotes que trafegam na rede estão suscetíveis a perdas devido a vários fatores, como por exemplo, congestionamento. Ao realizar esse tipo de suposição, os autores tornam dúbios os resultados obtidos para a perda de pacotes, visto não garantirem a chegada de todos eles.
- **P. Machań *et al.*** [51]: dados os problemas de desempenho do processo de *handover* que afetam diretamente serviços multimídias em redes *Wireless*, Machań *et al.* [51] propõem um algoritmo de *handover* proativo que incorpora o padrão IEEE 802.11k como forma de melhorar a tomada de decisão na escolha do melhor AP. Os autores fazem uma revisão do padrão 802.11r, apresentando os métodos e seu funcionamento. Logo após, apresentam a definição de algoritmos proativos e detalham o algoritmo proposto. Os testes foram realizados sobre um ambiente de simulação, utilizando o simulador de rede ns-2. O ambiente contou com cinco APs, operando em canais diferentes e somente com o padrão IEEE 802.11g habilitado. Foram simulados a velocidade de deslocamento do usuário móvel, o tráfego VoIP e três métodos de *handover*: normal, transição rápida de BSS (do Inglês, Fast BSS Transition) *Over-the-Air* e PHA (*Proactive Handover Algorithm*), além da utilização do método de autenticação IEEE 802.1X e tráfego de fundo. Os resultados apresentados pelos autores mostraram melhorias significativas através do algoritmo

proposto para as fases que envolvem o processo de *handover*, como autenticação, associação e *scanning* e na escolha do ponto de acesso com melhor qualidade de canal. Além disso, o PHA apresentou uma diminuição na porcentagem de perda de pacotes com relação aos métodos supracitados. Os autores concluem o trabalho relatando que os resultados obtidos mediante o algoritmo proposto são promissores em comparação aos algoritmos de *handover* legados.

- **Thiago W. L.** [49]: o trabalho desenvolvido por Thiago [49] tem o objetivo de reduzir o tempo de migração entre BSS e analisar o impacto do processo de autenticação nas chamadas VoIP. O trabalho aborda de forma detalhada os principais fatores que afetam a qualidade de serviço em redes VoIP, as tecnologias envolvidas no processo de autenticação do usuário na rede e o padrão IEEE 802.11r. O autor enfatiza que os experimentos foram realizados em condições ideais, compreendendo uma única estação móvel utilizando o meio sem fio. Para o ambiente de testes foi montada uma infraestrutura que utiliza em sua totalidade *software* livre, como por exemplo, o *hostapd*, utilizado para emular um AP. Os resultados apresentados pelo autor demonstraram uma melhoria no tempo de transição entre BSS, *jitter* e perda de pacotes ao ter habilitado o padrão IEEE 802.11r na rede, com exceção dos testes realizados com WPA-EAP, que apresentaram valores acima do recomendado pela literatura. Thiago [49] conclui o trabalho enfatizando que o padrão IEEE 802.11r fornece subsídios para aplicações multimídia de tempo real em processo de *handover*.

4.3 Discussão dos Trabalhos

Os trabalhos elencados nas Seções 4.1 e 4.2 buscaram realizar estudos com relação a um dos principais parâmetros, *handover*, que degrada a qualidade de serviço de aplicações sensíveis ao atraso mediante mobilidade e padrões definidos pela IEEE que ajudam a minimizar os efeitos causados pelo processo de transição entre BSS. De forma geral, os trabalhos discutidos nas seções supracitadas obtiveram resultados satisfatórios de acordo com seus objetivos.

Para as avaliações realizadas nos trabalhos discutidos neste capítulo, utilizaram-se ambientes simulados ou reais, que não representam o mundo real, com exceção dos trabalhos realizados por Couto [20] e Ubaid [77]. A simulação é uma das maneiras de analisar o desempenho referente à qualidade de serviço de aplicações VoIP, mas acabam não expressando a real situação de um ambiente específico, como é o caso das redes sem fio, que estão sujeitas a uma variedade de interferências e que nem sempre são tratadas por simuladores e emuladores.

Atualmente, a rede sem fio da UnB conta com uma infraestrutura complexa, descrita na Seção 5.1, que necessita de avaliações preliminares com o objetivo de verificar a viabilidade do tráfego de voz mediante mobilidade sobre a WLAN existente. Nos trabalhos apresentados fica evidente a necessidade de se estudar, avaliar e testar o ambiente a ser implantado o serviço de voz. As redes sem fio estão sujeitas a interferências e a outros parâmetros que podem comprometer a qualidade auditiva da voz em uma comunicação de VoWiFi, como por exemplo, *handover*.

Como já discutido, a rede UnB *Wireless* está composta pela solução de rede sem fio do fabricante Aruba *Networks*. Na atual versão de seu sistema operacional, este disponibiliza funcionalidades que ajudam a amenizar as degradações sofridas pelo áudio em uma comunicação de VoWiFi mediante mobilidade. Padrões como IEEE 802.11k e 802.11r são passíveis de configuração na solução de rede sem fio da UnB, além da tecnologia proprietária *ClientMatch*.

Até o momento de elaboração do trabalho em questão, não foram encontrados na literatura estudos realizados sobre tráfego de voz mediante mobilidade, utilizando infraestrutura semelhante à da UnB, nem trabalhos que relatassem experiências obtidas com os padrões IEEE 802.11k, 802.11r ou *ClientMatch* em redes sem fio corporativas e em produção. Visto isso, como forma de contribuição para os trabalhos apresentados, pretende-se testar e avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte à mobilidade e tráfego de voz. Ao contrário de ambiente de simulação, será utilizado ambiente real e em produção.

4.4 Resumo Conclusivo

O capítulo apresentou um estudo sobre o estado da arte, em que foram levantados doze trabalhos de pesquisa científica correlacionadas com o estudo em questão. Após o detalhamento de cada um dos trabalhos fora realizado uma discussão sobre os mesmos e contribuições a serem dadas por esta pesquisa. O capítulo seguinte é destinado a apresentar a infraestrutura de rede de comunicação da UnB, onde serão explorados a abrangência e os aspectos gerais dos ambientes.

Capítulo 5

Rede Corporativa Integrada da UnB

Este capítulo apresenta a infraestrutura de comunicação da Universidade de Brasília, a qual compreende as redes sem fio (UnB *Wireless*), cabeada (REDUnB) e de telefonia, com o objetivo de abordar as soluções que vêm integrar esses ambientes. A apresentação dos ambientes se faz necessária para um melhor entendimento da infraestrutura existente e soluções implantadas, visto estarem diretamente correlacionados com os objetivos propostos no trabalho em questão. O capítulo também apresenta o ambiente VoIP (UnBVoIP) montado na Universidade de Brasília para uso por meio da rede UnB *Wireless* e cenários de avaliação que buscam analisar a transmissão de voz sobre a rede sem fio da UnB.

5.1 Rede de Comunicação da UnB

A rede de comunicação da UnB é responsável por integrar os diversos centros de custo, faculdades, departamentos, institutos, unidades descentralizadas e *campi* que compõem a Universidade de Brasília. Essa infraestrutura compreende a rede de dados cabeada (REDUnB), rede sem fio (UnB *Wireless*) e a rede de telefonia, as quais serão descritas a seguir:

- **Rede de Dados Cabeada:** também conhecida como REDUnB, integra o projeto REDECOMEP (Redes Comunitárias de Educação e Pesquisa) por meio de uma infraestrutura de fibra ótica que interliga o campus Darcy Ribeiro e os demais *campi* [7]. A Figura 5.1 apresenta um recorte da área geográfica onde estão localizados os *campi* contemplados com a rede. A RedUnB atende toda a comunidade acadêmica, aproximadamente dezessete mil pontos de rede que possibilitam a seus usuários acessarem sistemas acadêmicos, administrativos e Internet, estando disponível 24 horas por dia. Para atender ao serviço demandado pelos usuários com qualidade, a rede está constituída por um *backbone* de quatro núcleos (*switch core*), interligados

em topologia *full mesh* com enlaces de 10 Gbps, provendo redundância e tolerância a falhas. Esses equipamentos estão posicionados no ICC (Instituto Central de Ciências), FT (Faculdade de Tecnologia), FINATEC (Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos) e CPD (Centro de Informática), atendendo a, respectivamente, 37, 22, 20 e 14 localidades [7], como é possível visualizar na Figura 5.2. O estudo realizado por Barreto [7] apresenta um maior detalhamento da RedUnB;

- **Rede sem Fio:** denominada de rede UnB *Wireless*, atende aproximadamente a um quantitativo de quarenta mil usuários, dentre eles: professores, técnicos administrativos e alunos. Por meio da ferramenta *AirWave* [6], *software* de gerência da solução de rede sem fio, foi possível observar em abril deste ano, picos de até oito mil usuários conectados simultaneamente. A rede UnB *Wireless* dispõe de um quantitativo de quinhentos e trinta pontos de acesso, distribuídos pelo campus Darcy Ribeiro, Planaltina e Ceilândia, além de dez controladoras que gerenciam todo o ambiente *wireless* implantado na UnB. Cada controladora tem a capacidade de gerenciar até 64 APs simultaneamente, os quais trabalham com os padrões IEEE 802.11 a/b/g/n [36]. O Centro de Informática da Instituição vem realizando estudos para aumentar o quantitativo atual de APs, com o objetivo de atender as localidades ainda não contempladas, aumentando a capilaridade da rede. A segurança da rede é realizada por meio de autenticação, em que políticas de acesso são implementadas e todo o tráfego é monitorado por meio dos principais *firewalls* existentes na UnB. A Figura 5.3 ilustra a topologia da rede sem fio integrada à rede cabeada. Como relatado anteriormente, a solução de WLAN da UnB está composta por 10 controladoras, modelo 3400 e 530 APs, modelos 125 e 135. Toda a tecnologia de WLAN implantada na Universidade de Brasília é do fabricante Aruba *Networks* [65];
- **Rede de Telefonia:** desde o ano de 2009, a rede de telefonia da Universidade de Brasília encontra-se integrada à REDUnB, acompanhando o processo de convergência entre as redes de dados e voz. Atualmente, o sistema de telefonia conta com um parque de treze centrais telefônicas digitais, oito delas de grande porte (*MX-One*), as quais conseguem atender até a 500.000 usuários, dependendo de sua configuração, e três de pequeno porte (BP-250), com capacidade para atender no máximo a 300 usuários [26] [87]. As centrais telefônicas estão instaladas em pontos estratégicos com o objetivo de atender ao maior número possível de usuários. Elas trabalham com três tipos de tecnologias de ramais: analógica, digital e IP, em que todo o fluxo de chamadas internas à UnB trafegam por meio da REDUnB. O parque de telefonia implantado na Universidade tem aproximadamente 5.000 pontos de telefone instalados, atendendo a todos os *campi* e unidades descentralizadas, podendo che-

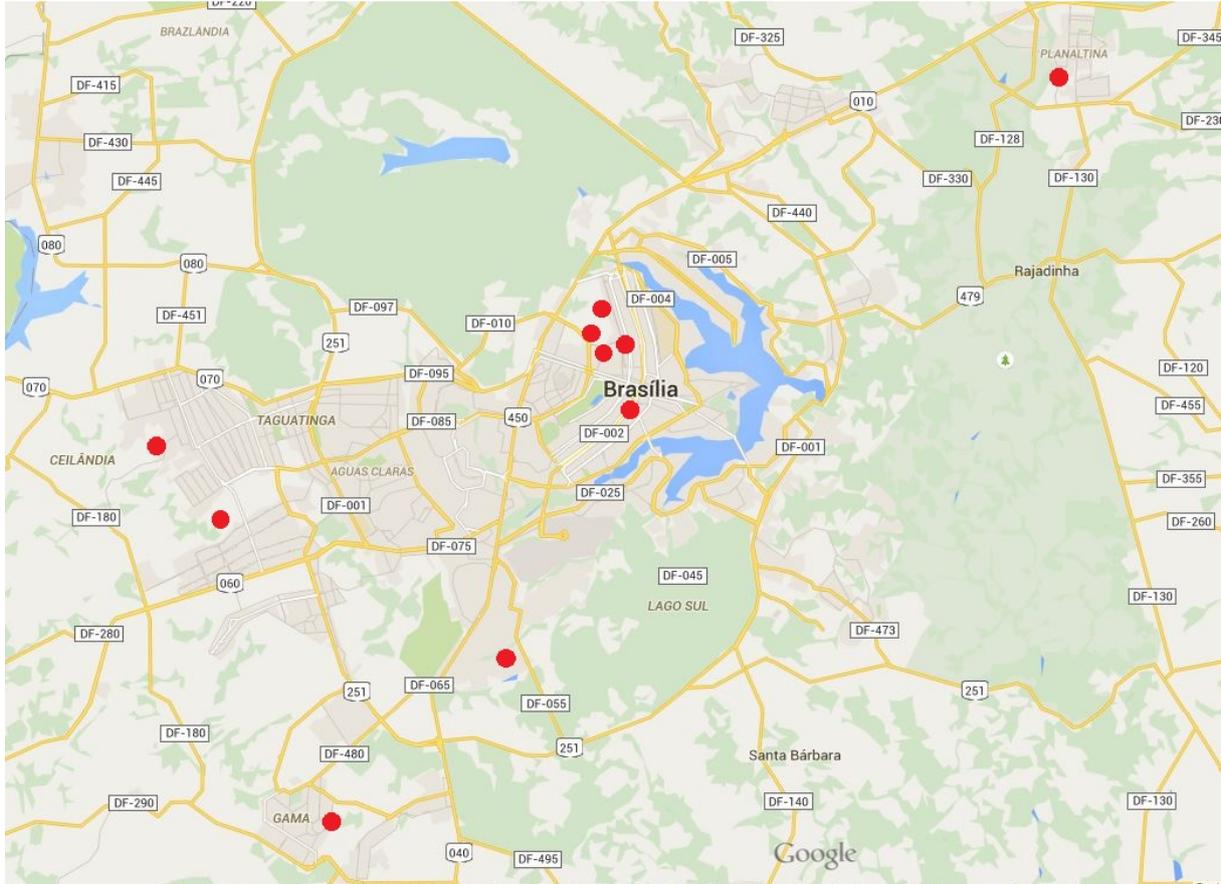


Figura 5.1: Capilaridade da REDUnB
(Adaptado de [7])

gar a 10.000 ramais, visto a faixa contratada com a mantenedora de serviço STFC. Hoje, a solução de telefonia conta com um quantitativo de licenças para ramais que superam a faixa contratada. Toda a solução de voz implantada nas dependências da Universidade de Brasília é do fabricante Mitel, antiga *Ericson* [69]. A Figura 5.4 mostra de forma macro a topologia da rede de telefonia integrada ao núcleo da rede de dados, apresentando o modelo e a localidade de instalação de cada uma das centrais.

O escopo deste trabalho está direcionado à avaliação de tecnologias que dão suporte a mobilidade e tráfego de voz na rede UnB *Wireless*. Com isso, vê-se necessário a apresentação da solução de WLAN implantada na UnB, com o objetivo de mostrar suas principais características, funcionalidades e soluções.

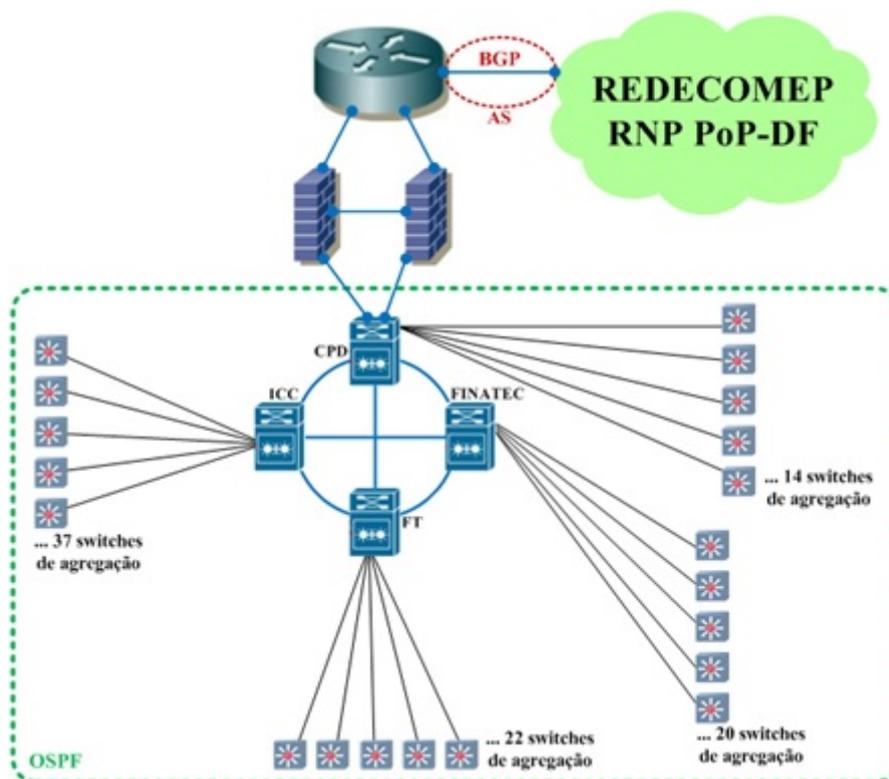


Figura 5.2: Topologia REDUnB
(Adaptado de [7])

5.2 Rede WLAN da UnB

Toda a tecnologia de WLAN corporativa implantada na Universidade de Brasília é do fabricante *Aruba Networks*. Uma empresa fundada em meados do ano de 2002 que provê soluções de WLAN empresarial para dados, voz e vídeo [59]. Cabe ressaltar que, em maio deste ano, a *Aruba Networks* foi adquirida pela empresa HP (do Inglês, *Hewlett-Packard*) [66].

Hoje, a solução de rede sem fio implantada na UnB está na versão **6.3.1.6** de seu sistema operacional – “Aruba OS”, instalada sobre uma plataforma Linux [63]. O sistema operacional em sua versão atual oferece uma diversidade de funcionalidades, dentre elas podemos citar: suporte ao protocolo IPV6 e OSPFv2, autenticação 802.1X, gerenciamento adaptativo de RF (ARM, do Inglês, *Adaptive Radio Management*), o qual objetiva melhorar o desempenho da rede, sistema de prevenção de intrusão, que auxilia na detecção de ataques na rede e nos clientes, provê redundância baseada no protocolo VRRP (do Inglês, *Virtual Router Redundancy Protocol*), entre outros. Visto que as aplicações de voz e vídeo são sensíveis ao atraso, a solução oferece ferramentas de priorização de tráfego, análise das métricas de QoS (atraso, *jitter* e perda de pacotes) e da qualidade auditiva da voz, além de tecnologias que ajudam as aplicações de tempo real mediante mobilidade, como

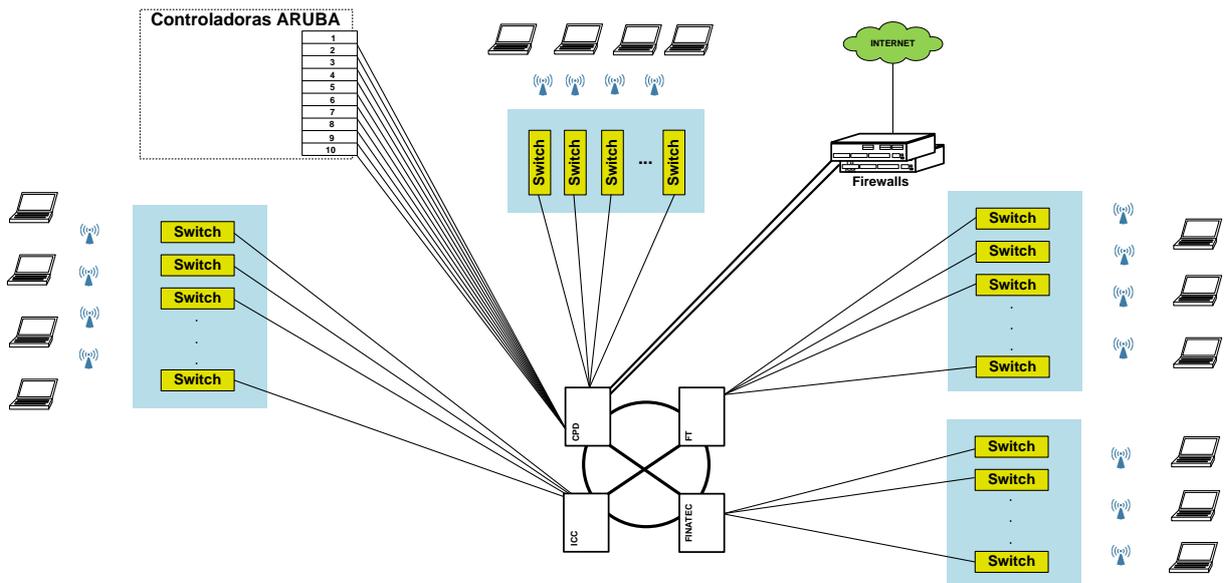


Figura 5.3: Topologia UnB *Wireless*

é o caso dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r, discutidos no Capítulo 2, e a tecnologia *ClientMatch*, que será apresentada na Seção 5.2.1.

5.2.1 *ClientMatch*

Geralmente o controle das decisões de conectividade (escolha do melhor AP, velocidade de envio e recepção de dados e decisão de migração) em uma rede sem fio fica sob a responsabilidade do cliente móvel. Essa autonomia nas decisões tomadas pelo dispositivo móvel pode causar problemas para a solução de rede sem fio, como por exemplo, redução do desempenho da rede [63].

Segundo documento técnico fornecido pelo fabricante Aruba [57], muitas vezes os dispositivos móveis decidem não realizar o processo de migração, permanecendo conectado ao ponto de acesso de origem, mesmo estando em condições desfavoráveis, como o baixo nível de sinal. Tal comportamento é conhecido como clientes pegajosos (do Inglês, *Sticky Client*). Esse comportamento pode ser ocasionado pela grande variedade de dispositivos móveis no mercado com diferentes sistemas operacionais, *chipsets* de redes sem fio, comportamentos diferentes de *roaming*, preferência de radiofrequência, dentre outros, em que tal diversidade impacta diretamente no bom funcionamento da rede.

Outro problema ocasionado pela autonomia dos dispositivos móveis é a sobrecarga dos pontos de acesso, devido os clientes móveis tenderem a se associar em APs com o melhor nível de sinal, levando os usuários a experimentarem níveis de serviço abaixo do esperado. Mediante a tecnologia *ClientMatch*, a Aruba Networks busca solucionar estes problemas [63].

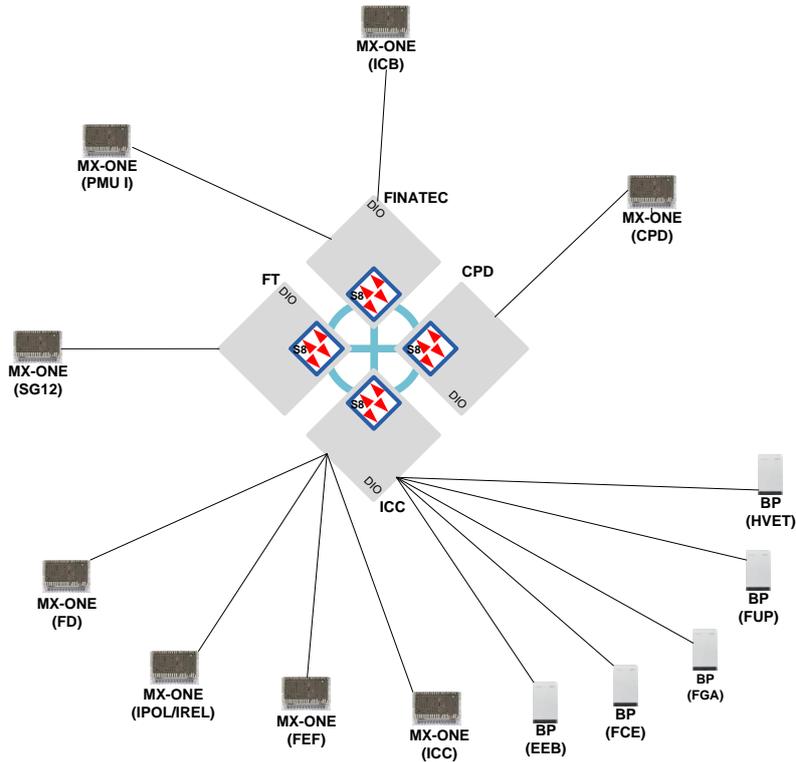


Figura 5.4: Topologia do sistema de telefonia UnB

O *ClientMatch* é uma tecnologia patenteada (**US20130036188** [58]) pela Aruba Networks, baseada em padrões de gerenciamento de radiofrequência, onde a infraestrutura de WLAN controla toda a parte de conectividade e processo de transição entre pontos de acesso de seus clientes. Estes são monitorados e automaticamente direcionados para a melhor radiofrequência e AP, melhorando o desempenho geral da WLAN e de seus usuários. A tecnologia aproveita os padrões da indústria para realizar suas funções de acompanhamento e controle, incluindo a norma IEEE 802.11k. A tecnologia *ClientMatch* surgiu na versão Aruba O.S 6.3, e documentos oficiais do fabricante [58], [57] e [63] afirmam que o *ClientMatch* funciona com qualquer cliente baseado nos padrões existentes de rede sem fio e que não existe a necessidade de nenhum *software* adicional para que a tecnologia atue. A Aruba fornece solução proprietária que garante o funcionamento do *ClientMatch* para todos os dispositivos em uma WLAN, inclusive para aqueles que já suportam o padrão 802.11ac [63] [57].

Ao habilitar o *ClientMatch* na rede, este monitora frequentemente a radiofrequência dos APs vizinhos, que se responsabilizam por mensurar a qualidade do sinal e coletar informações de cada cliente em sua vizinhança, enviando-as periodicamente à controladora. Essas informações são armazenadas em um banco de dados e compartilhadas com os APs, que as utilizam para determinar o AP candidato para cada cliente. A tecnologia

ClientMatch gerencia os clientes móveis em três condições [63]:

- **Balanceamento de carga:** o *ClientMatch* realiza o balanceamento de carga de seus clientes entre os APs nos diferentes canais, baseado na carga do cliente nos APs e no nível de SNR que o cliente detecta de um AP subutilizado;
- **Band Steering:** monitora o RSSI dos clientes que suportam *dual-band*. Caso o cliente esteja trabalhando a uma frequência de 2.4 GHz, e o AP detecta que esse cliente tem um bom RSSI na frequência 5 GHz, a controladora irá orientá-lo a mudar para 5 GHz, desde que o RSSI da frequência de 5 GHz esteja melhor que a de 2.4 GHz e a distribuição dos clientes em cada frequência esteja adequada;
- **Sticky Clients:** essa funcionalidade evita que clientes móveis permaneçam associados a um AP com níveis de RSSI menores que os desejáveis, causando problemas de conectividade e reduzindo o desempenho de outros clientes conectados àquele AP;

A Figura 5.5 exibe o funcionamento da tecnologia *ClientMatch* em sua visão macro na tomada de decisão para a transição do cliente móvel entre BSS. Como podemos observar, a controladora realiza a coleta de informações por meio dos clientes associados nos APs sob sua gerência. Com base nas informações coletadas, a controladora cria uma visão geral da rede, repassando as informações aos APs, os quais verificam se os clientes encontram-se conectados no melhor rádio, levando em consideração a potência do sinal, a utilização do canal e radiofrequência. Caso seja constatada a existência de um ponto de acesso que ofereça uma conexão melhor, a controladora coordena o processo de transição.

Como informado anteriormente, os *Sticky Clients* são clientes que tendem a permanecer associados a um AP em condições em que o nível de sinal recebido (RSSI) encontra-se baixo. No escopo deste trabalho, a funcionalidade *Sticky Client* será testada e adequada para aplicação na rede da UnB. O *ClientMatch* define alguns parâmetros no que tange aos clientes pegajosos e tempo de atualização da tecnologia [62]:

- **Client Match Sticky Client Check Interval (seg):** intervalo no qual o AP verifica a existência de valores de SNR recebidos do cliente;
- **Client Match Sticky client check SNR (dB):** indica o SNR que o cliente deverá ter para que seja considerado um *Sticky Client*. Caso o SNR do cliente esteja acima do valor estabelecido neste parâmetro, o cliente não será considerado um *Sticky Client* e permanecerá conectado no AP de origem;
- **Client Match SNR threshold (dB):** parâmetro que quantifica quanto melhor o SNR do cliente no AP de destino deve estar do AP de origem;

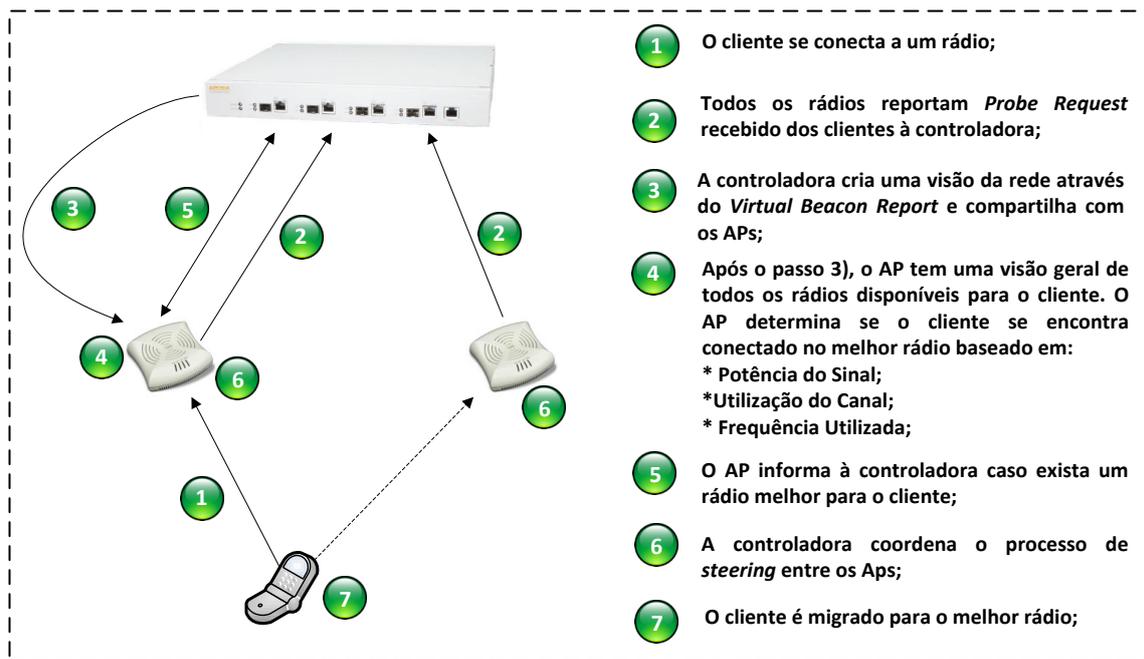


Figura 5.5: Funcionamento *ClientMatch*
(Adaptado de [56])

- ***Client Match Sticky Min Signal (dB)***: indica o sinal mínimo que o cliente precisa escutar do AP de destino. O cliente estará apto a mudar caso encontre um AP com sinal igual ou maior que o valor preestabelecido neste parâmetro;
- ***Client Match report interval***: define o tempo de atualização das informações enviadas pelo AP à controladora. As informações contêm endereços MAC e SNR dos clientes;
- ***Client Match Sticky Check Interval***: intervalo no qual o AP verifica a existência de valores de SNR recebidos do cliente.

A Figura 5.6 apresenta o algoritmo que deve ser seguido para que o cliente móvel seja considerado um *Sticky Client*. Os valores ilustrados na Figura 5.6 são os valores padrões recomendados pela Aruba Networks. O algoritmo inicia comparando o SNR do cliente móvel. Caso o SNR do cliente seja menor ou igual ao valor definido para o parâmetro **Client Match Sticky client check SNR (dB)**, o cliente começa a ser considerado um *Sticky Client*. Caso contrário, o processo *BandSteering* é inicializado. Na etapa seguinte, o cliente móvel necessita estar escutando um AP de destino com potência de sinal maior ou igual ao valor configurado para o parâmetro **Client Match Sticky Min Signal (dB)**, caso contrário o processo termina. Após cumprir as duas primeiras etapas, o SNR do cliente deve estar X dB melhor que o SNR do cliente no AP de origem. Esse ganho encontra-se configurado no parâmetro **Client Match SNR threshold (dB)**.

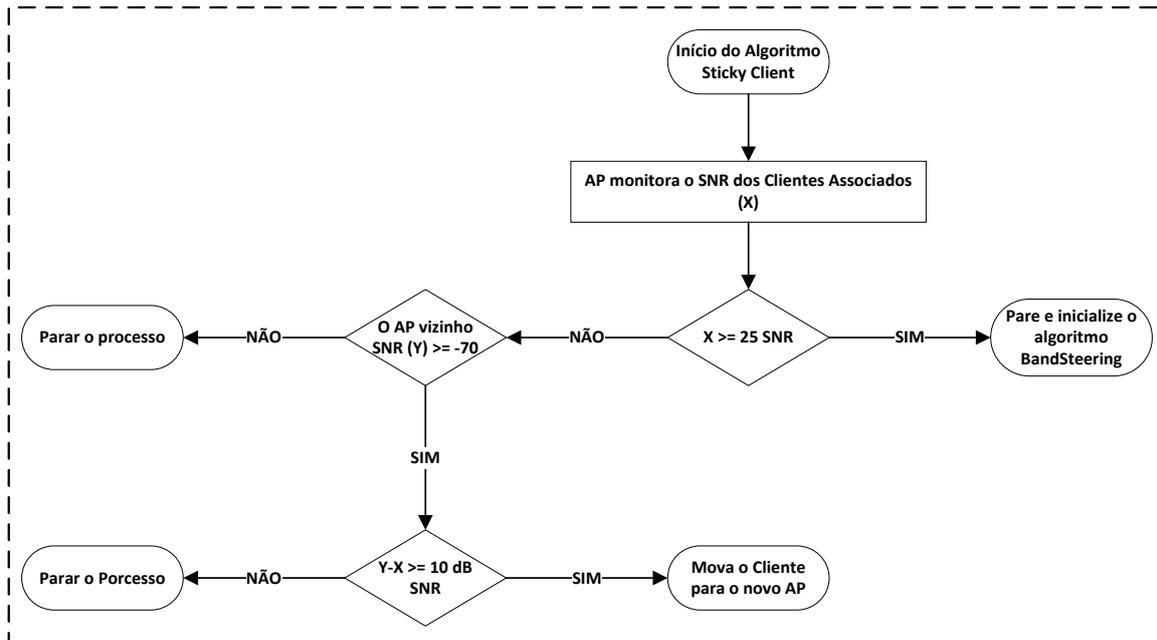


Figura 5.6: Algoritmo *Sticky Client*
(Adaptado de [56])

Caso contrário, o processo se finda. Cumprindo as três condições, a tecnologia executa a migração do usuário para o AP eleito.

A solução de rede sem fio da UnB ainda oferece ferramentas de controle/gerência de toda a infraestrutura montada as quais fazem parte do instrumental utilizado nos experimentos realizados neste trabalho e serão descritas na Seção 5.2.2.

5.2.2 Ferramentas de Gerência

Para o gerenciamento da rede UnB *Wireless*, a solução de rede sem fio implantada na UnB conta com ferramentas intuitivas, *AirWave* e *Mobility Controller*, que facilitam o gerenciamento, controle e configuração de toda a infraestrutura. As ferramentas serão apresentadas a seguir:

AirWave: sistema de gerenciamento via *Web* que oferece controle centralizado para gerir de forma eficaz infraestruturas de rede sem fio do fabricante Aruba *Networks*, o qual foi projetado para que se possa ter visibilidade abrangente de toda a rede [67]. De forma intuitiva, o gerente de TI é capaz de monitorar alertas, gerar vários tipos de relatórios, realizar análise e solução de problemas, visualizar localização de usuários conectados à rede, largura de banda utilizada, monitoramento em tempo real, visualizar gráficos que possibilitam um rápido diagnóstico dos problemas com a cobertura de sinal e desempenho de aplicações [6]. A ferramenta ainda conta

com o *AirWave VisualRF* e o *AirWave RAPIDS*. O *AirWave VisualRF* oferece a visualização da cobertura do sinal e a localização de cada AP por meio da planta de cada localidade onde foram instalados os APs. A funcionalidade *AirWave RAPIDS* tem o objetivo de detectar APs intrusos, bem como inibir a atividade dos mesmos [6]. O objetivo do *software* no escopo deste trabalho é coletar dados acerca da quantidade de usuários conectados, largura de banda consumida e potência dos APs.

Mobility Controller: sistema inteligente que conecta, controla e integra todos os dispositivos que fazem parte da solução de rede sem fio, mantendo na(s) controladora(s) todas as configurações e atualizações de *software* de todos os APs [67]. Por meio desse sistema é possível verificar qual a qualidade do canal que o usuário está utilizando, informações com relação ao uso da rede por usuários e aplicações, histórico de uso dos APs mediante gráficos, além de gerenciar toda a parte de autenticação, criptografia, radiofrequência, endereçamento IP, políticas de segurança, entre outros [64]. Cabe frisar que, na solução *wireless* da UnB, toda a configuração é executada na controladora mestre, via terminal ou interface *Web*. A solução está composta por um *cluster* de 10 controladoras, modelo 3400, indicadas para soluções de médio e de grande porte, sendo possível um gerenciamento centralizado. O objetivo dessa ferramenta dentro do escopo deste trabalho é poder realizar configurações que possibilitem atingir os objetivos especificados nos experimentos, além da coleta de informações, tais como quantidade de usuários conectados nos APs, SNR, ruído de fundo (do Inglês, ***noise floor***) (medida de intensidade do sinal de todas as fontes de ruído indesejados [63] [13]), largura de banda consumida nos APs, dentre outros.

Visando alcançar os objetivos propostos e dar início à implantação do serviço de voz para uso mediante a rede sem fio da UnB, foi montado um ambiente de voz, que será apresentado na Seção 5.3.

5.3 UnBVoIP

O ambiente implantado no CPD foi desenvolvido mediante o projeto UnBVoIP, que objetiva disponibilizar telefonia IP à comunidade acadêmica, na qual os usuários poderão realizar e receber chamadas telefônicas para qualquer ramal da Instituição, sem custo, utilizando a rede UnB *Wireless*.

O ambiente UnBVoIP foi instalado e configurado em um servidor *blade*, sendo disponibilizada uma máquina virtual com processador Intel Xeon CPU X5650 2.67 GHz com 2 GB de memória RAM. O sistema operacional utilizado foi o Debian 7, com a instalação do

Asterisk 1.8.15 *cert* 1, que exerce o papel de central telefônica. O ambiente fora montado para testes preliminares.

Hoje, o ambiente UnBVoIP encontra-se funcional, mas não em produção, permitindo que usuários se autentiquem no LDAP (do Inglês, *Lightweight Directory Access Protocol*) institucional e se registrem no *Asterisk*, utilizando informações como matrícula e senha. Os registros fornecidos pelo LDAP, além de serem utilizados para autenticar os usuários no sistema, servem também para a identificação dos ramais. A ideia é que cada usuário possa utilizar o seu número de matrícula como o identificador de um ramal telefônico. Dessa forma, alunos, professores e servidores poderão usufruir do serviço utilizando um *softphone*, instalado em um *smartphone*, computador pessoal ou *notebook*, entre outros. Por meio da configuração de um tronco SIP (canal lógico de comunicação) que interliga a central telefônica instalada no ICC e o servidor *Asterisk*, os usuários poderão realizar e receber chamadas da comunidade acadêmica.

Consideremos a Figura 5.7, que apresenta a topologia do ambiente UnBVoIP, para a apresentação de como funciona a comunicação entre o ambiente VoIP e a comunidade acadêmica. Antes de realizar chamadas telefônicas, o usuário precisa se registrar no *Asterisk*. Para isso, é necessário que o mesmo informe sua matrícula e senha que serão enviadas ao LDAP corporativo para a autenticação do usuário. Em caso de sucesso, o usuário se registrará no *Asterisk* e estará apto a realizar chamadas telefônicas. Para a realização das chamadas, o usuário precisará digitar o número do ramal, '7' + os quatro últimos dígitos do ramal, uma vez que o sistema de telefonia trabalha com cinco dígitos para completar chamadas internas. Após a digitação do ramal, as chamadas são encaminhadas ao *Asterisk*, que utiliza o tronco SIP para comutar as chamadas até a central telefônica, e esta encaminha ao usuário final. O processo inverso, realização de chamadas telefônicas da comunidade acadêmica para um usuário registrado no ambiente UnBVoIP, tem uma pequena diferença: em vez de o usuário digitar o número de um ramal da UnB, ele digitará a matrícula do usuário. Nesse cenário, o tráfego de voz passa pela rede UnB *Wireless*, REDUnB e pela infraestrutura da rede de telefonia. Para as chamadas entre os colaboradores da UnB, o usuário precisará saber a matrícula do colaborador com quem se quer estabelecer comunicação, sendo as ligações comutadas pelo PABX IP *Asterisk*.

Para a concepção do ambiente UnBVoIP, duas ferramentas se destacam:

- **LDAP:** protocolo para atualizar e pesquisar diretórios sobre a pilha TCP/IP. Um diretório LDAP geralmente segue o modelo X.500, que é uma árvore de nós, cada um consistindo de um conjunto de atributos com seus respectivos valores. Os servidores LDAP são particularmente úteis para armazenar informações sobre usuários, isto devido a natureza orientada à objeto [47];

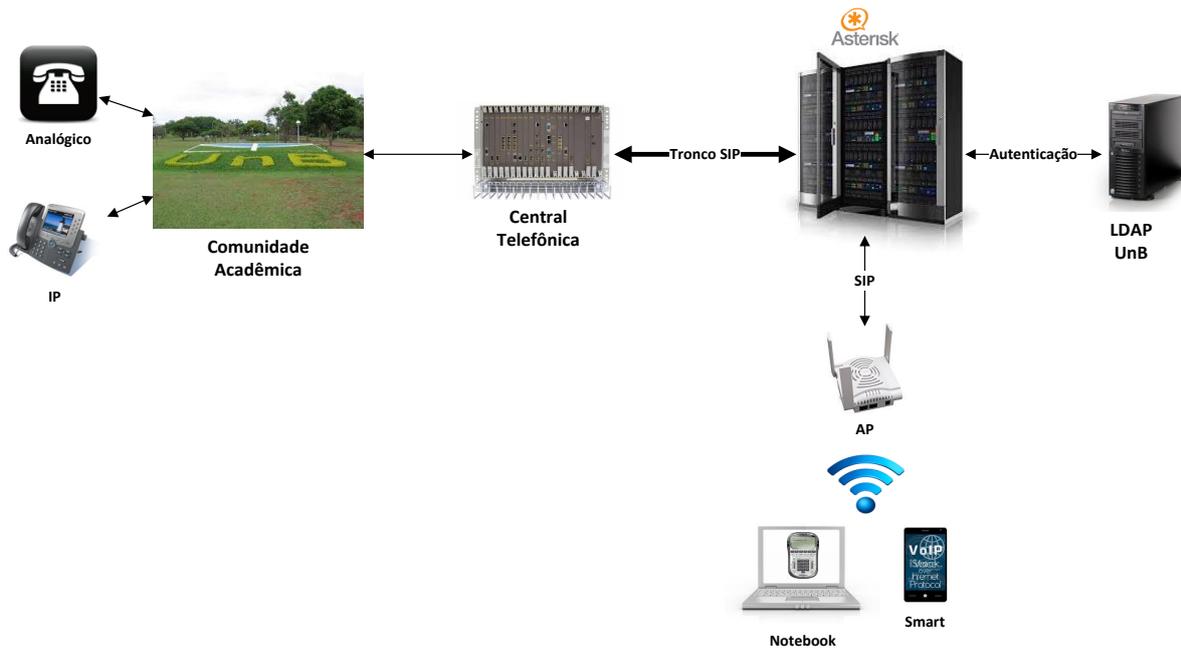


Figura 5.7: Ambiente UnBVoIP

- **Asterisk** [22]: primeiro PABX de código aberto da indústria, que funciona em *Linux* e em outras plataformas baseadas em *UNIX*, utilizando o conceito de *software* livre. Usado em conjunto com placas de telefonia, permite conectividade em tempo real entre a tecnologia VoIP e a Rede de Telefonia Fixa Comutada. Uma das principais características do *Asterisk* é a sua flexibilidade (totalmente configurável), provendo uma variedade de serviços, como: correio de voz, música em espera, salas de conferência, dentre outros, lembrando que é possível desenvolver novos serviços através de uma interface de programação. Dentre os protocolos de sinalização suportados pelo o *Asterisk*, destacam-se: SIP [78] e H323 [88].

Nos últimos anos, a infraestrutura da Universidade de Brasília tem crescido consideravelmente. Atualmente, o sistema de telefonia digital da UnB sofre com algumas limitações para atender às demandas do dia a dia, tais como, placas e licenças de ramais telefônicos para todos os usuários, infraestrutura de telefonia em todas as localidades, entre outras. Visto as deficiências existentes, usuários utilizam seus dispositivos pessoais para fins de atender às necessidades da Universidade. Outro fator é o alto custo gerado por ligações para celulares a funcionários que trabalham em campo. Por meio do projeto, alguns dos fatores listados anteriormente poderão ser resolvidos ou amenizados.

Como abordado na Seção 3.3, e mediante os trabalhos científicos apresentados no Capítulo 4, transmitir voz sobre redes sem fio ainda segue sendo um desafio, devido as interferências inerentes à tecnologia e facilidades providas pela mesma, como a de mobilidade. Para que se possa ter um serviço de qualidade sobre este tipo de rede,

são necessárias avaliações e adequações do ambiente e de tecnologias que amenizam as interferências sofridas pelo tráfego de voz. Com isso, foram definidos cenários de avaliação, que serão abordados na Seção 5.4. Conforme relatado na Seção 4.3, não foram encontrados trabalhos na literatura que avaliassem o tráfego de voz em conjunto com as tecnologias 802.11k, 802.11r e *ClientMatch*, utilizando ambiente real similar ao da UnB.

5.4 Cenários de Avaliação

Os experimentos a serem realizados no trabalho em questão têm a finalidade de avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte a mobilidade e tráfego de voz, aferir a qualidade auditiva do áudio trafegado na rede, analisar o desempenho dos principais parâmetros de QoS, discutidos na Seção 3.1.3 e avaliação de CODECs no processo de mobilidade do cliente móvel. Dessa forma, definiu-se alguns parâmetros a serem observados, Experimentos/Cenários de avaliação e o ambiente de teste. Cabe lembrar que para o escopo deste trabalho foram considerados cinco cenários de avaliação: Valores de Referência, Avaliação de *Handover*, Avaliação de CODECs, *ClientMatch* e Impacto dos Padrões 802.11k e 802.11r no *Handover*. Os cenários *ClientMatch* e Impacto dos Padrões 802.11k e 802.11r no *Handover* serão apresentados em conjunto, visto terem objetivos semelhantes. Cabe ressaltar que os experimentos serão realizados separadamente. Outro fator a ser frisado é com respeito as nomenclaturas utilizadas para “níveis de *roaming*”, “agressividade de *roaming*” e “manipulação de *roaming*”, que para o escopo deste trabalho serão utilizadas para denotar limiares configurados dentro dos equipamentos móveis que antecipam ou atrasam o processo de transição do cliente móvel entre BSS.

Valores de Referência: este cenário visa avaliar os parâmetros da potência de sinal recebido pelo usuário, ruído de fundo e SNR (do Inglês, *Signal-to-Noise Ratio*) do ambiente de testes, descrito na Seção 5.4.1, com o objetivo de obter valores de referência que serão utilizados como base de comparação para os demais cenários;

Avaliação de *Handover*: o cenário tem o objetivo de avaliar a qualidade auditiva da voz mediante algumas adequações no cenário de testes e no cliente móvel, tais como: variação nas distâncias entre os APs, avaliação da solução UnB *Wireless* com e sem a tecnologia *ClientMatch* e “simulação” de níveis diferentes de *roaming* implementado no cliente móvel. As avaliações se veem necessárias devido a:

- **Distanciamento entre APs:** conforme o manual do fabricante Aruba *Networks* [60], para que se tenha uma boa qualidade no tráfego de voz, o posicionamento

dos APs deve obedecer a uma distância entre 15 e 20 metros. Para o experimento em questão, os APs serão posicionados a uma distância de 20, 25 e 30 metros um do outro, com a finalidade de avaliar quanto o posicionamento entre os APs pode influenciar na qualidade auditiva do áudio. Faz-se necessária esta avaliação uma vez que a atual situação da solução de rede sem fio da Universidade de Brasília não dispõem de APs suficientes para cumprir com as recomendações.

- **Tecnologia *ClientMatch***: como estudado na Seção 5.2.1, a solução provê auxílio ao tráfego de voz, por meio do recurso *Sticky Client*. Com isso, busca-se responder ao seguinte questionamento: qual o impacto da tecnologia *ClientMatch* na qualidade das chamadas?
- **Níveis de *Roaming***: o cliente móvel é o responsável pela decisão de mudar ou não de AP, e o processo de transição é definido por um conjunto de regras do fabricante da placa de rede sem fio, sendo o RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) o principal parâmetro na tomada de decisão [15]. Ao utilizar VoWiFi, recomenda-se que o RSSI seja de -67 dBm ou maior, para que se possa ter boa qualidade no serviço [15]. Visto alguns dos dispositivos listados na Tabela 5.1 implementarem em seu *firmware* um limiar, o qual indica o RSSI que o cliente móvel deve iniciar o processo de transição e estes possibilitarem a variação do parâmetro, buscou-se variar os valores e verificar o impacto na qualidade auditiva da voz, assim como o comportamento de equipamentos que não permitem sua manipulação. A Figura 5.8 apresenta as possibilidades de variação do parâmetro, onde foram adotados os valores de *Roaming* Alto, Médio e Baixo para os experimentos;

Dentre os parâmetros de avaliação a serem observados nos cenários, estão: quantidade de usuários, largura de banda, potência do AP e do sinal recebido pelo usuário, SNR, ruído de fundo, atraso, *jitter*, perda de pacotes, tempo de *handover*, distância aproximada de *handover* e MOS. Os resultados serão apresentados em tabelas e, para um melhor entendimento, segue a descrição dos campos, juntamente com uma breve explicação:

- **Usr. Conectados**: quantidade de usuários conectados nos APs;
- **Largura de Banda**: largura de banda consumida pelos clientes conectados;
- **Potência do AP**: potência do sinal sendo transmitido pelo o AP;
- **Potência Recebida**: potência do sinal que o cliente móvel estava escutando na origem e após o processo de transição;
- **SNR**: SNR do usuário na origem e após o processo de transição;

Tabela 5.1: Dispositivos utilizados nos experimentos

ID	Dispositivo	Descrição
D1	Notebook	Processador - Corei5 CPU - M520 2.40 GHz; Memória - 4 GB; Sistema Operacional - Win7; Placa WiFi - Intel WiFi Link – 5100 AGN (Driver12.4.1.4);
D2	Notebook	Processador - Corei7 CPU - 2.20 GHz; Memória - 16 GB; Sistema Operacional - Win7; Placa WiFi - Intel Centrino Wireless – N 1030 (Driver 15.4.0.11);
D3	Notebook	Processador - Corei5 CPU - 2.50 GHz; Memória - 4 GB; Sistema Operacional - Win8; Placa WiFi - Intel Centrino Advanced – N 6205 (Driver 15.16.0.2);
D4	Notebook	Processador - Corei7; CPU - 2.10 GHz; Memória - 8 GB; Sistema Operacional - Win7; Placa de Rede - Realtek PCIe GBE
D5	Netbook	Processador - Corei3; CPU - 1 GHZ; Memória - 2 GB; Sistema Operacional - Win7 Starter; Placa WiFi - Atheros AR9285 (Driver 8.0.0316);
D6	Notebook	Processador - Corei5; CPU - 2.50 GHz; Memória - 4 GB; Sistema Operacional - Ubuntu 14.10; Placa WiFi - Intel Centrino Advanced-N 6205 (Driver15.16.0.2);
D7	PC	Processador - Corei5; CPU - 3.3 GHZ; Memória - 8 GB; Sistema Operacional - Win7; Placa de Rede - Intel 825792M Gigabit NetWork
D8	Notebook	Processador - Corei5; CPU - 2.53 GHZ; Memória - 4 GB; Sistema Operacional - Win7; Placa de Rede - Atheros AR9285 (Driver 8.0.0.279)
D9	Smartphone	Galaxy S5 Android 5 nro do modelo - SM-G900M Versão kernel - 3.4.0-4377764 nro. de compilação - lrx21t.SM-G900M_5.0_0009
D10	Tablet	GT-p3113 Android - 4.2.2 Kernel - 3.0.31-1978026 Nro de compilação - jdq39.p3113ueucmk3
D11	Smartphone	Galaxy S4 Android 5 nro do modelo - I9505VJUHOCl Versão kernel - 3.4.106-Alucard-PWR-CORE Nro. de compilação - cm_jfite-userdebug 5.0.2 LRX22G 6c27c1b328 testkeys
D12	Smartphone	IPhone 5s iOS - 8.4 Modelo - MD294BR/A IMEI - 013429001015185 Firmware - 8.02.00 ICCID - 89550460000220470786
D13	Smartphone	IPhone 6 iOS - 8.4 Modelo - MG632LL/A Versão - 12H143
D14	Smartphone	GT-I8552B Android - 4.1.2 Versão kernel - 3.4.0-1565445 Nro de compilação - J2054K.I8552BUBUANHI

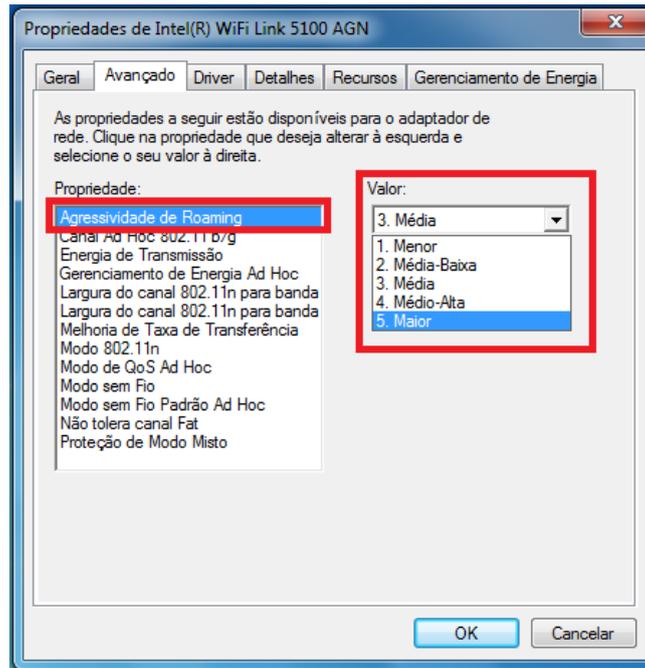


Figura 5.8: Agressividade de *roaming* – placa de rede sem fio

- **Ruído de Fundo:** ruído em que o usuário está escutando no canal no ponto de origem e de destino (após o processo de transição);
- **Atraso, *Jitter*, Perda de Pacotes:** apresentam os resultados do atraso, *jitter* e perda de pacotes. Cada parâmetro está composto por dois valores. O primeiro é o resultado da origem até o PABX IP *Asterisk* e o segundo, do PABX IP ao destino;
- ***Handover* (ms):** tempo que o usuário móvel obteve no processo de transição;
- ***Handover* (m):** distância em que o cliente móvel realizou o processo de transição;
- **Potência *Handover*:** potência aproximada do sinal em que o cliente móvel realizou o processo de transição;
- ***MOS*:** qualidade auditiva do áudio. Os resultados que serão apresentados para este parâmetro estão de acordo com o formato descrito para atraso, *jitter* e perda de pacotes;

Avaliação de CODECs: De acordo com Almeida [4], a escolha do CODEC pode ser um diferencial para qualidade de serviço ao trafegar voz sobre redes sem fio. Com essa visão, buscou-se avaliar três CODECs, o G711 A-*law*, *Speex* e *iLBC*, os quais serão configurados nos *softphones* a serem utilizados nos experimentos. Cabe ressaltar que os

experimentos serão executados mediante mobilidade e os parâmetros de avaliação a serem observados serão os mesmos apresentados no cenário anterior.

***ClientMatch* e Impacto dos Padrões 802.11k e 802.11r no *Handover*:** visto a solução de rede sem fio implantada na UnB prover recursos que ajudam o tráfego de voz no processo de *handover*, os testes a serem executados nos cenários em questão objetivam avaliar e adequar as tecnologias *ClientMatch*, 802.11k e 802.11r. Inicialmente, as adequações de parâmetros e testes iniciais serão realizados *in loco*, para que não venham a impactar na rede como um todo. Após os testes preliminares, as configurações serão aplicadas em três controladoras (05, 06 e 08), as quais gerenciam o maior número de usuários associados à rede da UnB (informação extraída do *software AirWave* [6]). Dentre algumas localidades que se encontram sob a gerência das controladoras a serem utilizadas nos experimentos, estão: Instituto Central de Ciências, Reitoria, Biblioteca Central, Faculdade de Tecnologia, Instituto de Biologia, Restaurante Universitário. Mediante os testes será possível verificar o impacto das configurações na rede da UnB. Os parâmetros a serem observados nos cenários estão voltados para as adequações dos parâmetros a serem configurados em cada tecnologia mencionada anteriormente. Para as tecnologias *ClientMatch* e 802.11k, pretende-se ajustar os parâmetros de forma a atender a recomendação de Coleman [15], o qual relata que para se ter qualidade de serviço em VoWiFi, a potência de sinal recebido pelo usuário não deve ultrapassar -67 dBm. Dado que as duas tecnologias proveem parâmetros que podem influenciar no processo de transição, buscou-se ajustá-los de forma a atender o recomendado. O padrão IEEE 802.11r será ajustado de forma a permitir que o tempo de transição entre BSS esteja abaixo dos 150 ms, tempo recomendado para que a voz não seja tão afetada pelo processo de transição entre BSS [15].

Os experimentos supradescritos em cada cenário serão executados nas dependências do Centro de Informática (CPD) da UnB, com a participação de dois usuários que utilizam o ambiente UnBVoIP para a realização de chamadas telefônicas e a rede UnB *Wireless* para tráfego dos dados. A Figura 5.9 apresenta a planta aproximada do local onde serão realizados os experimentos *in loco*, juntamente com a disposição dos usuários e equipamentos. Inicialmente, os pontos de acesso a serem utilizados nos experimentos serão posicionados a uma distância de 20m [60] entre eles, altura de 2,8m para ambos os APs e a uma distância das paredes de 1m para o AP01 e 2,10m para o AP02. Cabe frisar que a mobilidade do cliente móvel (Ustr02) teve somente uma direção, do AP01 para o AP02. Para a execução dos testes foi necessária a definição de ambientes de avaliação, que serão abordados na Seção 5.4.1.

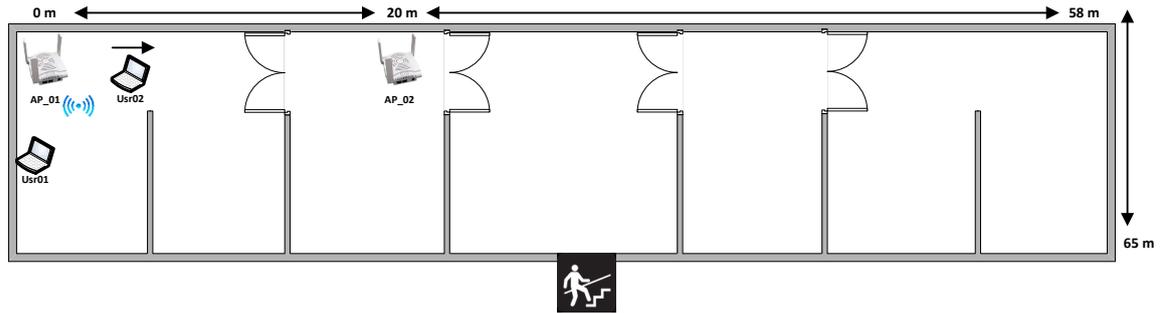


Figura 5.9: Local dos experimentos

5.4.1 Ambientes de Teste e Avaliação

O ambiente de testes e avaliações foi dividido em dois. O primeiro é utilizado para testes iniciais e adequações de parâmetros *in loco*, para que as configurações não viessem a impactar na rede como um todo, pois a solução de rede sem fio da UnB envolve uma infraestrutura complexa, e como já mencionado, atende a um quantitativo de aproximadamente quarenta mil usuários. Visto a criticidade, montou-se o ambiente em questão, onde foi possível variar parâmetros com prejuízo mínimo aos usuários. Após as configurações, testes e avaliações preliminares, utilizou-se o segundo ambiente de avaliação, o qual envolve a infraestrutura de rede da UnB. Os ambientes foram denominados de interno e externo, os quais encontram-se descritos abaixo:

- **Ambiente Interno:** este ambiente encontra-se implantado no Centro de Informática da Universidade de Brasília. Conforme a Figura 5.10, o ambiente contou com a presença de pontos de acesso, modelo Aruba AP-125, *switch* de distribuição, modelo *Etherasys* C5G124-48P2, *switch core Etherasys*, modelo S8, *Firewalls Fortinet*, modelos 1240 e 620 e controladoras Aruba, modelo 3400. Cabe lembrar que para cada chamada telefônica realizada nos experimentos, o ambiente UnBVoIP, apresentado na Seção 5.3, foi utilizado para registrar os usuários móveis, iniciar e terminar as sessões multimídia. O tráfego de voz gerado pelo originador da chamada passa por cada ativo de rede apresentado na Figura 5.10, sendo comutado pelo PABX IP *Asterisk* até chegar ao usuário de destino. Como é possível também observar na Figura 5.10, após o estabelecimento da chamada, o usuário móvel “Smart” faz uso da facilidade de mobilidade para realizar o processo de transição do AP01 para o AP02. É nessa visão que os experimentos encontram-se inseridos. O ambiente utilizado para testes é uma parte da infraestrutura de rede da UnB, descrito na Seção 5.1 e que se encontra em produção.
- **Ambiente Externo:** o ambiente externo contou com a infraestrutura de rede da UnB, constituída pelas redes REDUnB e UnB Wireless, que foram apresentadas na

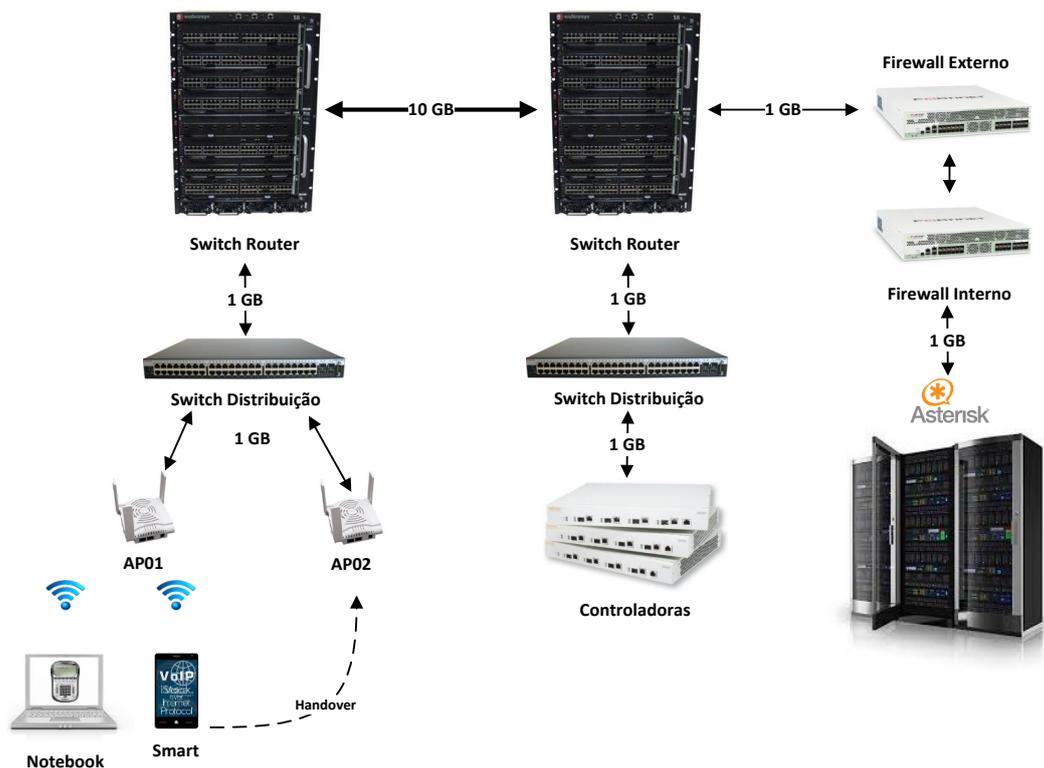


Figura 5.10: Ambiente de teste

Seção 5.1. A Seção 5.1 apresentou de forma macro a aplicabilidade, a topologia e os equipamentos que as compõem.

Além da parte de *hardware* envolvida no ambiente de testes, houve a necessidade de utilizar ferramentas para auxiliar na coleta dos dados, que serão abordadas na Seção 5.4.2.

5.4.2 Ferramentas Utilizadas

Para a realização dos experimentos foram utilizados equipamentos, apresentados na Tabela 5.1, e ferramentas que possibilitaram a execução, o monitoramento, a coleta e a análise dos dados, como:

Softphone: Aplicativo multimídia que possui todas as funcionalidades de um telefone comum. Trabalha associado à tecnologia VoIP, possibilitando ao usuário realizar chamadas em seu notebook, *desktop*, *smartphone*, dentre outros [19]. Os *softphones* utilizados foram: *X-Lite* [19], *Ekiga* [24] e *CSipSimple* [30]. Para o propósito deste trabalho, a aplicação tem o objetivo de realizar chamadas entre os clientes, utilizando o serviço de telefonia IP.

Xirrus: *Software* de inspeção de redes sem fio, que permite caracterizar a integridade e o desempenho de uma rede Wi-Fi. Ele disponibiliza ao usuário funcionalidades, como: nome, velocidade e tipo de segurança de cada rede disponível, testes de velocidade da conexão, histórico da potência do sinal das redes Wi-Fi detectadas, dentre outras funcionalidades [90]. No escopo deste trabalho terá a função de coletar dados, como: potência do sinal recebido pelo usuário, identificação dos pontos de acesso e migração do cliente entre os APs.

ClearSight Analyzer: Sistema de monitoramento e análise de desempenho de aplicativos e protocolos em tempo real, que fornece alarmes para identificação do problema, análises estatísticas, relatórios de QoS, estado da chamada de vídeo e voz, dentre várias outras funcionalidades. Ele suporta os protocolos mais comumente utilizados, tanto em redes cabeadas, como sem fio. Uma de suas grandes vantagens é trabalhar em conjunto com a ferramenta de captura de pacotes *Wireshark*, que possibilita ao usuário importar as decodificações e analisá-las de forma fácil e ágil [68]. A ferramenta fora utilizada neste trabalho para análise do tráfego de voz, que mediante a importação das capturas de pacotes coletadas por meio do *software Wireshark*, forneceu as principais métricas que afetam a qualidade auditiva da voz (atraso, *jitter* e perda de pacotes), além da mensuração do MOS.

Wireshark: É um analisador de pacotes de código aberto, que tem a finalidade de interceptar dados que trafegam na rede, cabeada ou sem fio, apresentando-os de forma compreensível. Ele é utilizado em diversas circunstâncias, tais como: solução de problemas na rede e segurança, análise de protocolos, entre outros [11]. Sua principal funcionalidade no escopo deste trabalho é a captura dos pacotes trafegados em uma das controladoras da solução de rede sem fio da UnB, para uma posterior análise da qualidade da voz mediante a ferramenta *ClearSight*.

Aruba Utilities: Aplicativo *Android* que inclui uma série de ferramentas para monitoramento e solução de problemas em redes sem fio *Aruba*. Algumas ferramentas trabalham com qualquer WLAN e outras dependem da solução *Aruba AirWave*. Funcionalidades, como monitoramento de *handover*, potência do sinal, testes de vazão por meio da ferramenta IPERF e mapa de calor podem ser executados a partir desta aplicação. A aplicação fora utilizada para mensurar a potência do sinal, momento do processo de *handover* e identificação dos APs [72].

Runtastic Pedometer: Aplicativo que objetiva mensurar o desempenho de corridas e caminhadas, permitindo saber a velocidade média, bem como o número de passos do

usuário. O *Runtastic Pedometer* fora utilizado com o objetivo de mensurar a velocidade de deslocamento do usuário na execução dos experimentos [79].

5.5 Resumo Conclusivo

O presente capítulo apresentou a infraestrutura das redes cabeada e sem fio, além de uma breve descrição da solução de telefonia da Universidade de Brasília, ambientes integrados que formam a rede de comunicação da UnB. Visto o trabalho estar focado no tráfego de voz sobre a rede UnB *Wireless*, viu-se a necessidade de se realizar uma visão geral das principais características, funcionalidades e soluções da rede WLAN implantada na UnB, juntamente com o ambiente de voz, que objetiva disponibilizar o serviço à comunidade universitária. Como forma de alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foram definidos cenários de avaliação, ambiente de testes e ferramentas, que buscam avaliar a transmissão de voz mediante mobilidade sobre a infraestrutura de rede sem fio da UnB. O capítulo seguinte apresenta os experimentos, as metodologias e os resultados obtidos na pesquisa realizada neste trabalho.

Capítulo 6

Experimentos e Análise dos Resultados

Este capítulo tem a finalidade de adequar e avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte à mobilidade e tráfego de voz. Ademais, os experimentos buscam analisar os principais parâmetros de QoS, qualidade auditiva da voz, diferentes níveis de agressividade de *roaming* implementados nos dispositivos móveis e avaliações com três tipos de CODECs, buscando verificar qual deles melhor se adapta à mobilidade do dispositivo móvel em redes padrão IEEE 802.11 de acordo com a qualidade auditiva da voz. A metodologia adotada e os resultados obtidos também são apresentados.

6.1 Experimentos Realizados

Os experimentos foram executados em dias de final de semana, com o objetivo de simular um ambiente com o mínimo de interferências externas que pudessem prejudicar os resultados do objeto em estudo, pois como relatado anteriormente, o ambiente de rede utilizado nos experimentos encontra-se em produção. Os experimentos foram divididos em cinco cenários: “Valores de Referência”, “Avaliação de *Handover*”, “Avaliação de CODECs”, “*ClientMatch*” e “Impacto dos Padrões 802.11k e 802.11r no *Handover*”. Vale salientar que as siglas “CCM” (com *ClientMatch*) e “SCM” (sem *ClientMatch*) são utilizadas na apresentação dos resultados.

6.2 Valores de Referência

Como visto na Seção 5.4, este cenário buscou obter valores de referência a serem utilizados como base de comparação para os demais cenários. Levando-se em consideração a Figura 5.9, que apresenta o local de testes, o usuário móvel se deslocou do AP01 em direção

ao AP02, onde os dados foram coletados em 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 metros do AP01. Cabe lembrar que a coleta de dados ocorreu também no sentido contrário, pois para cada bateria de aferições, somente um AP encontrava-se em operação. A distância de 0 a 30 metros se justifica devido ao fato do posicionamento dos APs utilizados nos experimentos.

As medições foram executadas com um *smartphone*, onde fora instalado o *software* Aruba *Utilities* [72] para a mensuração da atenuação do sinal. O ruído de fundo e o SNR foram coletados por meio de linha de comando, **show ap association client-mac <mac-cliente>**, executado na controladora, como é possível observar na Figura 6.2. Ao total foram realizadas 10 repetições para cada AP envolvido no experimento.

A Figura 6.1 apresenta a relação entre os parâmetros coletados para o AP01 e o AP02 (potência do sinal, ruído de fundo e SNR), sendo possível visualizar uma tendência linear com relação aos resultados obtidos. Outro fator passível de ser observado é com relação aos parâmetros de potência do sinal e SNR, ou seja, à medida em que o usuário se distancia dos APs, aumenta a atenuação do sinal e conseqüentemente diminui a relação sinal-ruído. Os resultados obtidos com relação à potência do sinal, ruído de fundo e SNR estiveram condizentes entre os pontos de acesso, apresentando pequena variação entre os parâmetros, como é possível visualizar na Figura 6.1, por meio da sobreposição dos valores coletados para cada parâmetro. Cabe ressaltar que para cada conjunto de aferições fora calculado a medida de dispersão intitulada de desvio padrão, apresentando pequenas variações nos resultados, dentro da normalidade para redes que estão sujeitas a interferências, como é possível visualizar na Figura 6.1.

A Tabela 6.1 lista a média dos resultados para o experimento em questão. Por meio dos resultados foi possível verificar que a média de crescimento a cada 5 metros para a atenuação do sinal foi de $-5,2$ dBm para o AP01 e $-4,4$ dBm com relação ao AP02. Quanto ao SNR, a média de decréscimo foi de $4,9$ dB para o AP01 e de $3,9$ dB com relação ao AP02. O ruído de fundo não apresentou variações significativas entre as distâncias, tendo a média ficado abaixo de -1 dBm para ambos os APs testados.

Tabela 6.1: Parâmetros coletados do AP01 e AP02

AP01							
	0	5	10	15	20	25	30
Potência Sinal (-dBm)	46,3	53,5	60,6	66,0	72,6	75,2	77,3
Ruído de Fundo (-dBm)	88,5	89,0	89,1	89,2	89,7	89,7	89,8
SNR (dB)	52,1	45,5	38,8	32,8	26,9	24,9	22,5
AP02							
Potência Sinal (-dBm)	46,7	52,6	60,9	66,3	70,9	72,0	73,2
Ruído de Fundo (-dBm)	87,8	88,1	88,5	88,7	89,0	88,8	88,9
SNR (dB)	52,1	47,2	40,6	36,7	30,7	29,6	28,9

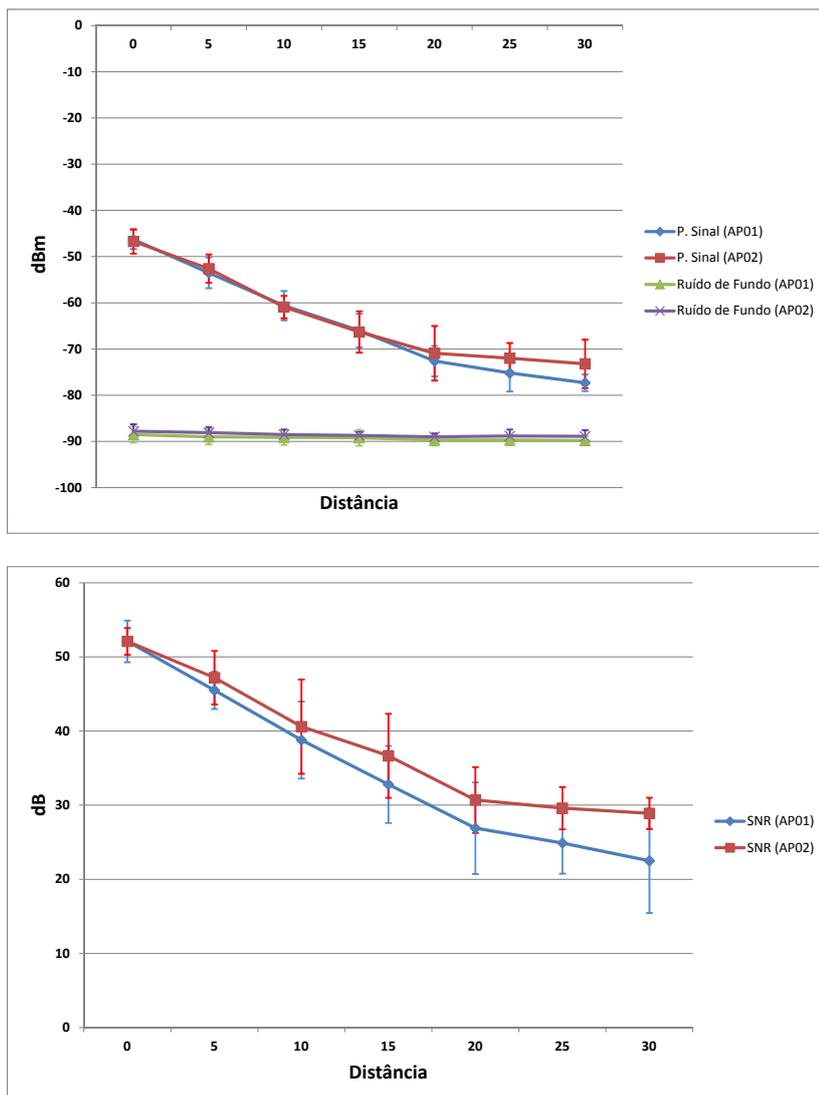


Figura 6.1: Relação potência do sinal, ruído de fundo e SNR

6.3 Avaliação de *Handover*

Considerando as avaliações a serem executadas nesse cenário, foram utilizados os dispositivos [D1, D2, D3, D4, D7, D8 e D14], que tiveram a finalidade de realizar chamadas telefônicas e coleta de dados. Todos os experimentos foram realizados com tráfego de voz e se findava logo após a transição do usuário móvel do AP01 para o AP02 ou ao chegar nos 65m, como mostra a Figura 5.9. A velocidade de locomoção do usuário móvel (Usr02) esteve entre 0,97 a 1,11 m/s, a qual foi aferida pelo *software Runtastic Pedometer* [79].

Para o cálculo dos parâmetros de atraso, *jitter*, perda de pacotes, tempo de *handover* e MOS, inicialmente foi necessário realizar capturas de pacotes com o *software Wireshark*. Após os dados coletados, utilizou-se a ferramenta *ClearSight* para calcular os parâmetros

```

Association Table
-----
Name          bssid          mac          auth  assoc  aid  l-int  essid
-----
AP-CPD-1-01-REDES  00:24:6c: 50:fc:9f:  y    y      1   10    UNB Wireless

50:fc:9f: 00:24:6c: Stats
-----
Parameter          Value
-----
Channel             5
Channel Frame Retry Rate(%)  0
Channel Frame Low Speed Rate(%)  0
Channel Frame Non Unicast Rate(%)  0
Channel Frame Fragmentation Rate(%)  0
Channel Frame Error Rate(%)  0
Channel Bandwidth Rate(kbps)  0
Channel Noise      85
Client Frame Retry Rate(%)  0
Client Frame Low Speed Rate(%)  0
Client Frame Non Unicast Rate(%)  0
Client Frame Fragmentation Rate(%)  0
Client Frame Receive Error Rate(%)  0
Client Bandwidth Rate(kbps)  4
Client Tx Packets  811
Client Rx Packets  826
Client Tx Bytes    33726
Client Rx Bytes    203584
Client SNR         33

```

Figura 6.2: Coleta do ruído de fundo e SNR

elencados anteriormente, com exceção do tempo de *handover*. Cabe ressaltar algumas considerações para o experimento em questão:

- os parâmetros de atraso, *jitter*, perda de pacotes e MOS não foram aferidos para o Usr01 (cliente estático), uma vez que o objeto de estudo estar focado em mobilidade;
- como relatado na Seção 5.4, os resultados do parâmetro MOS são divididos em duas partes. Para a análise do parâmetro, será considerado o pior caso, ou seja, o tráfego de voz do cliente móvel até o PABX IP. Esta é a parte da comunicação de voz que sofre maior degradação.

Segundo relata Nankani [54], não existe um padrão para calcular o tempo de *handover*, havendo vários trabalhos de pesquisa com diferentes formas de aferição. Nankani [54] define dois métodos para calcular o tempo de *handover*: *Raw handoff latency* e *Real handoff latency*. O primeiro método executa o cálculo baseado no intervalo da primeira mensagem de *probe request* enviado pelo cliente móvel e a mensagem de *reassociation response* enviada do AP de destino. O segundo método se baseia no cálculo do último pacote de dados que o cliente móvel enviou para o AP de origem e o primeiro pacote de dados transmitido pelo dispositivo móvel através do AP de destino. O método utilizado neste trabalho foi o *Real handoff latency*, o qual melhor se adéqua para o escopo deste trabalho. Como é possível observar na Figura 6.3, a captura de pacotes mostra as mensagens trocadas no processo de autenticação do usuário móvel no processo de transição

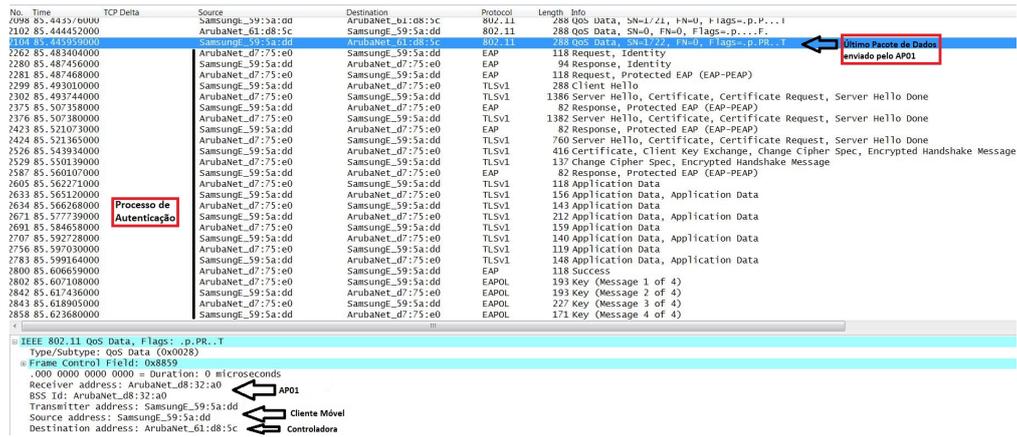


Figura 6.3: Último pacote e processo de autenticação

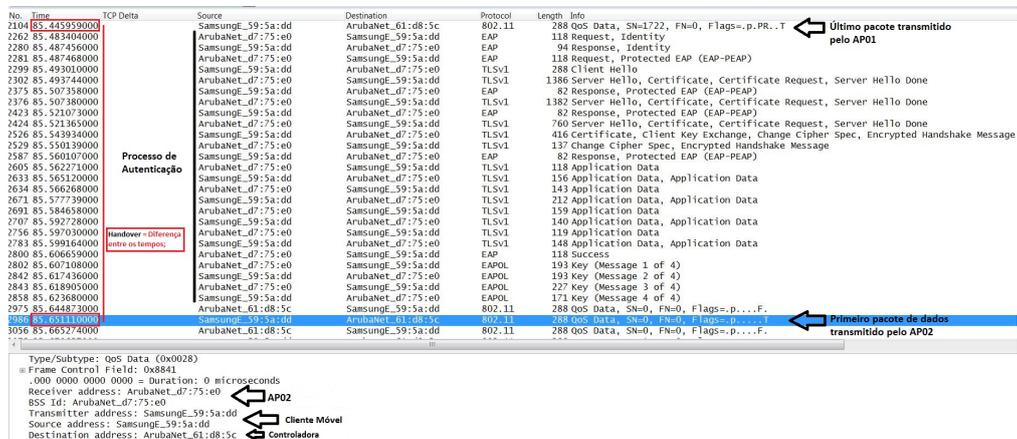


Figura 6.4: Primeiro pacote, processo de autenticação e cálculo realizado

entre os APs, em que é apresentado o último pacote enviado pelo cliente móvel por meio do AP de origem. Mediante a Figura 6.4, é possível observar o primeiro pacote de dados transmitido pelo cliente móvel por intermédio do AP de destino e o cálculo do tempo de *handover*.

Levando-se em conta que os experimentos a serem realizados neste cenário terão a tecnologia *ClientMatch - Sticky Client* habilitada na rede, foram configurados os valores padrões: **Client Match Sticky Min Signal = 70**, **Client Match SNR threshold = 10** e **Client Match Sticky client check SNR = 25**.

A execução dos testes foi dividida em dois experimentos: “Dispositivos com e sem Manipulação de *Roaming*”. Para os experimentos, a distância entre os APs foi predefinida em 20, 25 e 30 metros,

6.3.1 Dispositivos sem Manipulação de *Roaming*

Para a execução do experimento, os dispositivos utilizados não permitiam manipulação dos valores de agressividade de *roaming*, ficando a cargo do equipamento a tomada de decisão do processo de transição. Os dispositivos [D2, D8 (*Notebook*) e D14 (*Smartphone*)] foram utilizados. No total, foram realizadas 72 repetições, 36 para cada dispositivo, e 6 em cada bateria de testes. Todos os testes foram realizados mediante chamadas telefônicas utilizando o *softphone X-Lite* e *CSipSimple*, com o protocolo SIP e CODEC G.711 (*A-law*) configurados.

Dispositivo *Smartphone*

A Tabela 6.2 apresenta os resultados das avaliações realizadas através do dispositivo *Smartphone* com e sem a tecnologia *ClientMatch* habilitada na rede UnB *Wireless*. Ao avaliar os resultados, observou-se que o parâmetro MOS, o qual valora a qualidade auditiva do áudio, foi de usuário “Satisfeito” com a tecnologia *ClientMatch*, variando entre “Satisfeito” e “Alguns Insatisfeitos” sem *ClientMatch* na rede.

Tabela 6.2: Resultados com *Smartphone*

		20m									
Smartphone	CCM	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Handover (ms)	Handover (m)	MOS	
	SCM	3,10	3,10	12,05	12,39	0,89	0,00	166,83	29,67	4,24	4,37
		2,33	1,92	12,27	11,98	0,87	0,00	179,33	29,17	4,26	4,37
		25m									
Smartphone	CCM	6,01	7,73	12,94	13,33	3,28	0,00	219,50	35,00	4,16	4,37
	SCM	5,10	2,40	12,12	12,33	1,21	0,00	159,67	31,33	4,20	4,37
		30m									
Smartphone	CCM	58,85	2,11	13,04	13,20	2,86	1,65	201,50	34,00	4,11	4,31
	SCM	2,13	1,66	12,04	11,83	5,84	0,00	275,67	28,17	3,97	4,35

Mediante a Tabela 6.2 e Figura 6.5 é possível visualizar uma pequena melhora na qualidade auditiva da voz e no parâmetro de perda de pacotes, com o AP posicionado na distância de 20m. Com relação ao valor MOS, o AP posicionado à distância de 20m teve seu resultado 1,92% (CCM) e 1,42% (SCM) melhor que o AP posicionado a 25m e 3,16% (CCM) e 7,3% (SCM) que o AP aos 30 metros. Para o parâmetro de perda de pacotes, houve um acréscimo nas perdas de 2,39% (CCM) e 0,34% (SCM) com respeito ao AP posicionado em 25m e 1,97% (CCM) e 4,97% (SCM) para o AP aos 30m. A Figura 6.5 também mostra o desvio padrão dos resultados para cada conjunto de aferições com relação ao distanciamento dos APs e MOS. Por meio do desvio padrão observa-se maior variação dos resultados do parâmetro MOS com o AP posicionado em 30m e sem a tecnologia *ClientMatch* habilitada na rede, onde não foi possível identificar mediante as ferramentas utilizadas neste trabalho a causa da variação do MOS.

Os resultados dos parâmetros de atraso e *jitter* estiveram dentro do limiar recomendado pela literatura e não apresentaram diferenças significativas entre o posicionamento

dos APs. A princípio, a degradação na qualidade auditiva da voz para os APs posicionados a 25 e 30m, foi causada pela perda de pacotes, devido ao distanciamento dos APs e tempo de *handover*, que se encontram acima do recomendado pela literatura (< 150 ms).

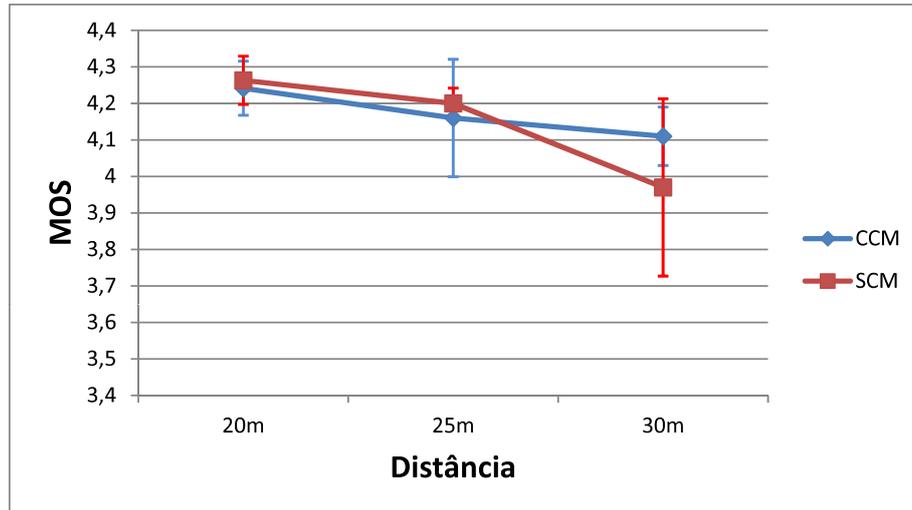


Figura 6.5: Relação distância do AP e MOS - *Smartphone*

Cabe relatar que para esta bateria de testes, a tecnologia *ClientMatch - Sticky Client* não atuou em nenhuma das avaliações, ou seja, toda tomada de decisão para o processo de *handover* ficou a cargo do dispositivo (o cliente móvel migrou em todos os testes). Com isso, não foi possível identificar se a funcionalidade *Sticky Client* seria benéfica para a solução de voz.

Dispositivo *Notebook*

Antes de adentrar aos resultados, cabe lembrar que alguns campos das Tabelas 6.3 e 6.4 tiveram seus nomes reduzidos, mas estão de acordo com as descrições apresentadas na Seção 5.4. Como é possível observar nas tabelas supradescritas, o dispositivo móvel executou o processo de transição em alguns dos testes realizados. Com isso, os resultados foram diferenciados como clientes que executaram ou não o processo de transição. Convém ainda lembrar, que para os usuários móveis que não realizaram o processo de transição, não foi possível obter resultados para todos os parâmetros. Os campos “Potência Recebida” e “SNR”, para os usuários que permaneceram conectados no AP de origem (AP01), representam os resultados na origem e no ponto limite de deslocamento do usuário móvel

(Usr02), ou seja, aos 65 metros. No geral, dos 36 testes executados, em 53% dos casos o dispositivo móvel permaneceu associado ao AP de origem e em 47%, executou-se o processo de transição. Para os experimentos com tecnologia *ClientMatch* habilitada na rede, em 50% dos testes o dispositivo móvel executou o processo de transição e nos outros 50% permaneceu associado ao AP de origem, lembrando que em nenhum desses experimentos a tecnologia *ClientMatch* atuou, deixando a tomada de decisão do processo de migração a cargo do dispositivo móvel. Os testes executados sem a tecnologia *ClientMatch* tiveram um percentual de transição do dispositivo móvel para o AP de destino de 44,4%, e em 55,6% dos casos o cliente móvel não migrou.

Tabela 6.3: Mobilidade do cliente com *ClientMatch* – Notebook

	Potência Recebida (-dBm)		SNR (dB)	
	AP01	AP02	AP01	AP02
20 metros				
Com ClientMatch				
Migrou	42,3	53,3	46,7	39,7
N. Migrou	41,3/87,3	0,0	48,0/16,7	0,0
Sem ClientMatch				
Migrou	43,8	51,0	44,0	34,8
N. Migrou	46,5/88,0	0,0	46,5/7,5	0,0
25 metros				
Com ClientMatch				
Migrou	38,2	43,6	42,8	46,0
N. Migrou	41,0/89,0	0,0	49,0/17,0	0,0
Sem ClientMatch				
Migrou	40,0	47,0	35,0	35,0
N. Migrou	43,0/87,4	0,0	46,4/14,2	0,0
30 metros				
Com ClientMatch				
Migrou	44,0	39,0	46,0	64,0
N. Migrou	40,0/87,6	0,0	45,2/19,2	0,0
Sem ClientMatch				
Migrou	43,0	45,3	45,3	45,7
N. Migrou	41,3/87,0	0,0	48,3/18,7	0,0

Tabela 6.4: Mobilidade do cliente com *ClientMatch* – Notebook – continuação

	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Hand. (ms)	Hand. (m)	P. Hand. (-dBm)	MOS	
20 metros											
Com ClientMatch											
Migrou	4,0	2,5	2,5	1,6	0,5	0,0	425,0	27,3	66,0	4,31	4,38
N. Migrou	60,2	4,0	23,0	13,5	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	4,12	4,37
Sem ClientMatch											
Migrou	1,6	2,7	0,9	0,5	0,1	0,0	622,0	28,5	67,0	4,37	4,38
N. Migrou	16,0	23,3	170,9	127,6	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,04	4,37
25 metros											
Com ClientMatch											
Migrou	2,5	3,6	1,1	0,5	0,1	0,0	371,6	30,0	68,4	4,37	4,38
N. Migrou	0,5	74,8	100,3	100,3	5,3	1,0	0,0	0,0	0,0	3,73	4,27
Sem ClientMatch											
Migrou	1,9	1,3	1,7	1,3	0,2	0,0	381,0	32,0	71,0	4,36	4,38
N. Migrou	158,9	15,1	132,7	85,7	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,03	4,37
30 metros											
Com ClientMatch											
Migrou	3,0	6,1	1,7	0,6	0,1	0,0	414,0	25,0	63,0	4,32	4,38
N. Migrou	4,8	43,1	84,7	45,6	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,13	4,38
Sem ClientMatch											
Migrou	4,0	2,4	1,3	0,5	0,1	0,0	704,0	36,0	69,3	4,38	4,38
N. Migrou	61,1	26,7	148,7	108,9	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,93	4,38

Os resultados da qualidade auditiva da voz para os clientes móveis que realizaram o processo de transição obtiveram níveis de satisfação do usuário variando entre “Satisfeito” e “Muito Satisfeito”. Os valores de atraso, *jitter* e perda de pacotes estiveram bem abaixo do recomendado, sendo um dos motivos para o bom desempenho da qualidade da voz.

Ademais, o distanciamento dos APs não foi fator impactante na degradação da qualidade auditiva da voz.

Ao contrário dos resultados obtidos para os clientes que executaram o processo de transição, o áudio trafegado na rede teve sua qualidade degradada para os clientes móveis que não migraram para o AP de destino. O nível de satisfação do usuário esteve entre “Alguns Insatisfeitos” e “Satisfeitos”. Para esse conjunto de resultados, observa-se nas Tabelas 6.3 e 6.4 que, na maioria dos casos, os parâmetros de atraso, *jitter*, perda de pacotes, potência do sinal e SNR impactaram diretamente na qualidade auditiva da voz, devendo-se ao distanciamento do usuário móvel do AP de origem (65m). De acordo com Ciampa [13], para que se tenha uma boa qualidade no sinal, recomenda-se que a relação sinal-ruído seja maior que 25 dB, onde os resultados obtidos apresentaram uma variação de 7,5 a 18,7 dB aos 65m. Com respeito a potência de sinal recomendada para serviços de VoWiFi, Coleman [16] relata que a mesma não ultrapasse -67 dBm, onde os resultados foram de aproximadamente -89 dBm ao finalizar as chamadas telefônicas, ou seja, -22 dB acima do recomendado. Os resultados apresentados para os clientes que não executaram o processo de transição caracterizaram a condição de *Sticky Clients*, os quais deveriam ter sido auxiliados pela tecnologia *ClientMatch* no processo de transição, para os testes com a tecnologia habilitada na rede.

Ao retirarmos a média de todos os resultados obtidos para os testes onde houve ocorrências do processo de transição, assim como para os testes onde os usuários não migraram, foi possível constatar uma melhoria na qualidade auditiva do áudio de 9% para os testes em que o cliente móvel migrou, em comparação aos resultados em que o cliente móvel não executou o processo de transição. Os resultados demonstraram que deixar a tomada de decisão do processo de migração entre BSS sob responsabilidade do dispositivo móvel pode ser um risco para aplicações de tempo real, pois cada dispositivo implementa seu próprio algoritmo, fazendo com que o cliente móvel atue de diferentes maneiras.

6.3.2 Dispositivos com Manipulação de *Roaming*

De acordo com a Figura 5.8, os valores adotados para agressividade de *roaming* foram: Alto, Médio e Baixo. Por meio da ferramenta *Xirrus* foi possível observar que os clientes configurados com *roaming* Alto migravam aproximadamente em -60 dBm, Médio, em -70 dBm e Baixo, em -80 dBm.

No total foram executadas 108 repetições, 36 para cada agressividade de *roaming*. Os testes foram realizados mediante chamadas telefônicas utilizando o *softphone X-Lite*, com o protocolo SIP e CODEC G.711 (*A-law*) configurados. Na execução dos experimentos foram utilizados os dispositivos D1 e D2, ilustrados na Tabela 5.1.

Roaming Alto

Para as avaliações realizadas com o equipamento *notebook* e nível de *roaming* alto, o nível de satisfação do usuário para a qualidade auditiva da voz foi “Muito Satisfeito”, tanto para “com”, como “sem *ClientMatch*” na rede. Os resultados não apresentaram diferenças significativas na variação do posicionamento dos APs com relação ao parâmetro MOS. Os fatores que colaboraram para o bom desempenho da qualidade auditiva da voz foram o atraso, *jitter* e perda de pacotes, que estiveram dentro do limiar aceitável para se ter qualidade de serviço em VoIP, além de tempos de *handover* relativamente baixos (< 150 ms), ao levarmos em consideração toda a infraestrutura e lógica que engloba a rede UnB *Wireless*. Como é possível verificar mediante a Tabela 6.5, o campo “*Handover (ms)*” lista os resultados que variam entre 70 e 120 ms. Observamos também por meio do campo “*Handover (ms)*”, com o AP posicionado em 25m, duas transições do cliente móvel. O fato se justifica devido o *ClientMatch* implementar a funcionalidade, estudada na Seção 5.2.1, denominada de *Band Steering*, que a princípio, para este experimento, não causou impacto nos principais parâmetros (atraso, *jitter* e perda de pacotes) que determinam a qualidade auditiva da voz em redes IP. Antes que o cliente móvel realizasse o processo de transição entre os APs, a funcionalidade *Band Steering* transferiu o cliente, que no momento estava trabalhando na frequência de 2.4 GHz, para 5 GHz. Uma decisão não muito bem acertada, pois o cliente já se encontrava distante do AP de origem, mas que a princípio não causou danos a qualidade do áudio.

Tabela 6.5: Resultados *roaming* alto

20m												
		Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Handover (ms)	Handover (m)	MOS		
R. Alto	CCM	2,45	3,63	1,37	1,34	0,19	0,00	120,33	20,50	4,36	4,38	
	SCM	2,25	1,54	1,46	1,43	0,35	0,00	126,67	23,00	4,34	4,38	
25m												
R. Alto	CCM	2,54	2,29	1,62	1,75	0,28	0,00	53,00	93,67	25,17	4,36	4,38
	SCM	2,22	2,91	1,46	1,43	0,22	0,00	70,00	23,00	4,36	4,38	
30m												
R. Alto	CCM	3,50	2,54	1,80	1,87	0,27	0,00	106,83	23,00	4,37	4,38	
	SCM	3,38	3,13	1,44	1,42	0,32	0,00	89,00	25,50	4,34	4,38	

A funcionalidade *Sticky Client* não atuou nos testes realizados, não sendo possível analisar se a tecnologia trás benefícios ao tráfego de voz. Para o experimento em questão, o fato da tecnologia não atuar pode ser explicado pelo nível de agressividade de *roaming* do cliente móvel, migrando antes que a tecnologia pudesse agir. Em todos os testes realizados o dispositivo móvel executou o processo de transição entre BSS.

Roaming Médio

Os resultados dos testes realizados com o dispositivo *notebook*, *roaming* médio, são apresentados na Tabela 6.6. Como é possível visualizar no campo “*Handover (ms)*”, para

alguns experimentos houve dois tempos de *handover*, sendo que o primeiro é devido à atuação da tecnologia *ClientMatch – Band Steering*, transferindo o usuário móvel da frequência 2.4 para 5 GHz, que implica em uma nova autenticação do usuário na rede. O segundo foi ocasionado pela transição do usuário móvel para o AP de destino. Os tempos mais elevados apresentaram-se nos experimentos onde os APs foram posicionados a 20 (1151 ms) e 25m (962 ms). Os piores tempos de *handover*, ocasionados pela funcionalidade *Band Steering*, foram aproximadamente 7,8 vezes superior ao tempo de *handover* recomendado pela literatura, sendo um dos fatores que ajudaram na perda de pacotes e na degradação da qualidade auditiva da voz. Os resultados estão condizentes ao relatado por Coleman [15], ao afirmar que infraestruturas de redes sem fio similares às da UnB, tempos de *handover* podem ser superiores a 700 ms. Parâmetros como atraso e *jitter* estiveram dentro do recomendado, não sendo afetados pelo processo de *handover* a ponto de degradar a qualidade auditiva da voz. No geral, o nível de satisfação do usuário calculado por meio do parâmetro MOS foi de usuários “Satisfeitos” e “Muito Satisfeitos”. Mesmo com os resultados satisfatórios para a qualidade auditiva da voz, verifica-se que nos testes realizados com o AP posicionado a 30 metros, o parâmetro MOS apresentou uma piora na qualidade da voz, Figura 6.6, de aproximadamente 2,1% para os testes com *ClientMatch* e 1,8% sem *ClientMatch*, levando em consideração os testes realizados com os APs em 20 e 25 metros. O fator que contribuiu para os resultados relatados anteriormente foi a perda de pacotes, ocasionada pelo processo de transição do cliente móvel entre BSS, distanciamento dos APs e principalmente pelas atuações do *ClientMatch – Band Steering*. O *Band Steering* foi o responsável pela dispersão dos resultados do parâmetro MOS, como é possível verificar na Figura 6.6, por meio do desvio padrão, para os testes executados a 30m e *ClientMatch* habilitado.

Tabela 6.6: Resultados com *roaming* médio

20m													
R. Médio	CCM SCM	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Handover (ms)		Handover (m)		MOS	
				6,39	2,07	4,46	3,77	0,99	0,44	1151,00	115,33	35,00	32,00
		3,47	2,73	1,34	1,37	0,29	0,00		135,33			4,35	4,38
25m													
R. Médio	CCM SCM	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Handover (ms)		Handover (m)		MOS	
				1,77	1,79	3,88	3,54	1,15	0,00	962,00	102,33	36,67	35,83
		6,64	1,76	1,40	1,35	0,84	0,00	167,00	99,33			4,35	4,38
30m													
R. Médio	CCM SCM	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Handover (ms)		Handover (m)		MOS	
				1,86	2,68	1,64	1,68	1,99	0,00	213,83	118,00	40,33	33,00
		16,00	20,88	1,21	1,20	1,54	2,92		95,83			4,27	4,38

Os valores obtidos nos testes para o experimento em questão, com relação ao parâmetro MOS, tiveram uma pequena piora no que tange aos resultados dos testes com *roaming* alto. Ao retirar a média dos resultados do parâmetro MOS, *roaming* alto, com relação ao posicionamento do AP em 20, 25 e 30 metros, assim como para o experimento em questão, observou-se que a qualidade auditiva da voz para o experimento *roaming* alto foi aproximadamente 1,4% melhor que o *roaming* médio. A princípio, o motivo da piora dos

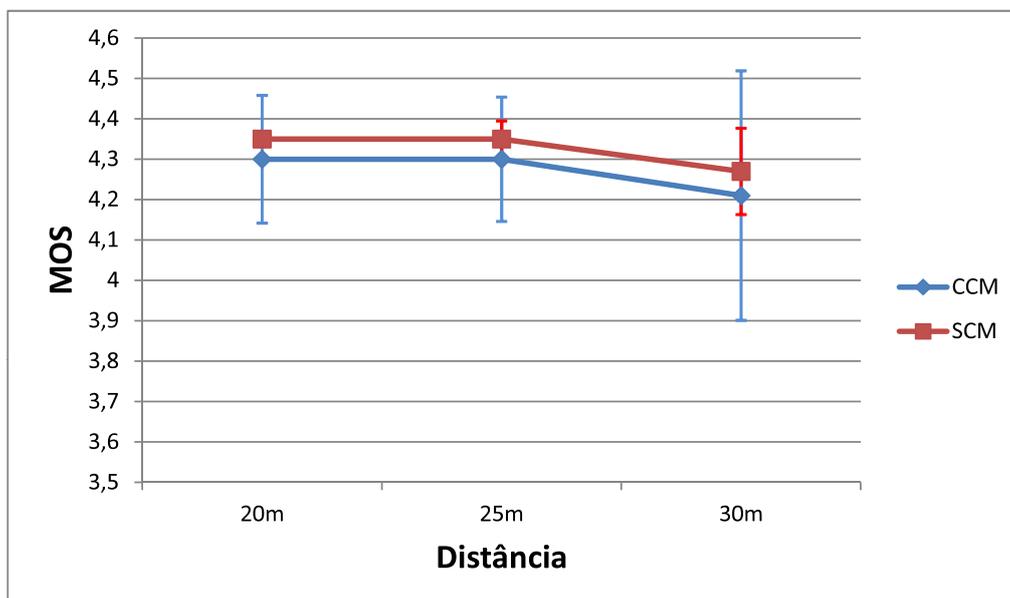


Figura 6.6: Relação distância dos APs e MOS – *Roaming* Médio

testes com *roaming* médio se deve às atuações do *ClientMatch – Band Steering*. Outro fator é a agressividade de *roaming*, pois ao forçar o cliente móvel a inicializar o processo de transição a uma maior distância do AP de origem, o dispositivo fica suscetível a maior degradações dos principais parâmetros de QoS em redes VoIP.

Como é possível observar na Tabela 6.4, os resultados obtidos para o cliente móvel que executou o processo de transição, com relação ao parâmetros MOS, foram melhores que para o experimento em questão. Na média, o MOS para o dispositivo *notebook* sem manipulação de *roaming* foi 1,4% superior ao MOS obtido para este experimento. Isso se deve ao fato de a tecnologia *ClientMatch – Band Steering* não ter atuado nos experimentos com o dispositivo sem manipulação de *roaming*, até porque o equipamento utilizado só trabalhava a 2.4 GHz. O fato vem comprovar que a funcionalidade *Band Steering* prejudica aplicações sensíveis ao atraso, como é o caso de VoWiFi.

Para as avaliações com a tecnologia *ClientMatch* habilitada na rede, em nenhum dos testes realizados a tecnologia atuou mediante a funcionalidade *Sticky Client*, na qual a tomada de decisão do processo de transição foi realizada pelo dispositivo móvel. Em todos os testes realizados neste experimento, o dispositivo móvel realizou o processo de transição entre BSS.

Roaming Baixo

Ao analisar a Tabela 6.7, que apresenta as avaliações realizadas por meio do cliente móvel *notebook – roaming* baixo observa-se que na maior parte dos resultados, o nível de satisfação do usuário, de acordo com o parâmetro MOS, foi avaliado em “Satisfeito”. Mesmo com essa avaliação, é necessário atentar para os parâmetros de *handover* e as atuações de *ClientMatch - Band Steering*.

Tabela 6.7: Resultados com *roaming* baixo

		20m											
		Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. Pacotes (%)		Handover (ms)		Handover (m)		MOS	
R. Baixo	CCM	15,61	4,49	4,51	4,40	5,40	0,00	217,00	325,33	55,83	4,13	4,37	
	SCM	1,97	1,72	1,71	2,08	1,30	0,00	216,17	122,33	49,83	4,26	4,38	
		25m											
R. Baixo	CCM	3,38	4,63	1,90	1,99	0,29	0,00	157,50	51,83	4,37	4,38		
	SCM	3,09	2,52	1,84	1,84	0,37	0,00	162,17	51,17	4,35	4,38		
		30m											
R. Baixo	CCM	10,10	3,67	1,94	1,66	0,72	0,00	319,33	48,00	4,33	4,38		
	SCM	42,36	5,60	1,92	2,02	1,13	0,00	192,33	51,67	4,22	4,38		

Como é possível verificar na Tabela 6.7, por meio dos testes realizados com o AP posicionado a 20 metros, o parâmetro de perda de pacotes apresentou 4,40% a mais de pacotes perdidos nos testes “com *ClientMatch*” e 0,30% nos testes “sem *ClientMatch*”, em comparação com o que recomenda a literatura. O aumento na perda de pacotes foi ocasionada pelas execuções dos processos de *handover*, afetando diretamente a qualidade auditiva da voz.

A Figura 6.7 exibe a comparação dos resultados obtidos com os diferentes limiares de *roaming* avaliados e a respectiva qualidade auditiva da voz dos testes realizados mediante mobilidade. Como é possível verificar na Figura 6.7, o limiar de “*Roaming Alto*” foi o que obteve melhor qualidade auditiva da voz por meio do processo de transição do cliente móvel entre BSS, apresentado ganhos de 1,36% com relação ao *Roaming Médio*, 1,83% com respeito ao *Roaming Baixo* e 4,69% com relação ao dispositivo móvel *Smartphone*, o qual não permitia manipulação do limiar de *roaming*. Cabe lembrar que os limiares de “*Roaming Alto*”, “*Roaming Médio*” e “*Roaming Baixo*” foram os limiares de *roaming* configurados no dispositivo *Notebook*.

O posicionamento dos APs em 25 e 30m não demonstrou grande variação nos resultados para a qualidade auditiva da voz. Cabe lembrar que o *ClientMatch – Sticky Client* não atuou em nenhum dos experimentos, não sendo possível analisar seu benefício para o tráfego de voz sobre a rede UnB *Wireless*. Para todos os testes realizados neste experimento, o dispositivo móvel executou a transição entre os pontos de acesso.

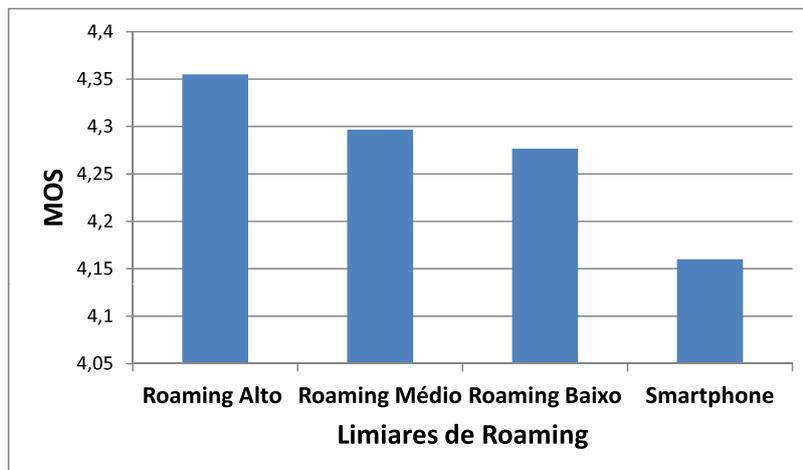


Figura 6.7: Relação limiar de *roaming* e MOS

6.4 Avaliação dos CODECs

Para os experimentos realizados neste cenário, utilizaram-se os dispositivos [D2, D3, D4, D7 e D14]. A metodologia utilizada para a coleta de dados e a mobilidade do usuário foram as mesmas executadas na Seção 6.3. As chamadas telefônicas foram realizadas por meio dos *softphones Ekiga* e *CSipSimple*. A utilização do *softphone Ekiga* é devido ao fato do mesmo implementar todos os CODECs testados no experimento. Antes da execução dos testes, tomou-se o cuidado de averiguar que ambos os clientes estavam utilizando o mesmo tipo de CODEC e, assim, evitar transcodificação do áudio no PABX IP, prejudicando os resultados. Os APs foram posicionados a uma distância de 20m um do outro.

No total, foram realizadas 18 repetições, seis com cada CODEC. Vale frisar que os CODECs foram selecionados de acordo com a disponibilidade dentro dos *softphones*, suporte pelo *Asterisk* e gratuidade dos mesmos. A Tabela 6.8 exhibe os resultados obtidos na avaliação dos CODECs G711 (*A-law*), *Speex* e *iLBC*.

Tabela 6.8: Resultados dos testes de CODEC

G711 (A-Law)										
	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. pacotes (%)		Handover (ms)	Handover (m)	MOS	
Média	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	156,8	29,5	4,3	4,4
	1,8	2,3	12,4	12,1	1,5	0,0				
Speex										
	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. pacotes (%)		Handover (ms)	Handover (m)	MOS	
Média	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	285,0	37,5	4,0	4,4
	2,1	3,0	13,8	13,8	1,8	0,0				
iLBC										
	Atraso (ms)		Jitter (ms)		P. pacotes (%)		Handover (ms)	Handover (m)	MOS	
Média	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	Usr02	156,5	32,2	4,0	4,4
	2,3	2,5	16,7	16,6	1,9	0,0				

De forma geral, o CODEC G711 *A-law* comportou-se melhor que os outros CODECs avaliados mediante mobilidade do cliente móvel, sendo a qualidade auditiva da voz 7,5% melhor que o *Speex* e iLBC. O nível de satisfação do usuário foi de “Satisfeito”. Para os demais CODECs analisados, o nível de satisfação ficou em “Alguns Usuários Insatisfeitos”, apresentando certo nível de degradação no áudio.

Um dos fatores que prejudicou o desempenho dos CODECs iLBC e *Speex* foi a perda de pacotes, que encontra-se acima do recomendado pela literatura (0,8% – *Speex* e 0,9% – iLBC), sendo ocasionada pelo processo de *handover* e pela atenuação do sinal, visto o processo de transição ter ocorrido aproximadamente entre 32 e 37m. Parâmetros como *jitter* e atraso, que são primordiais para uma boa qualidade em comunicações VoIP, encontram-se dentro dos valores sugeridos pela literatura. No que diz respeito à tecnologia *ClientMatch* – *Sticky Client*, em nenhum dos testes realizados neste experimento a tecnologia atuou, não sendo possível analisar o impacto da funcionalidade *Sticky Client* no experimento. O cliente móvel executou o processo de transição em todos os testes realizados.

6.5 *ClientMatch*

O experimento a ser executado neste cenário tem o objetivo de adequar, testar e avaliar os parâmetros da tecnologia *ClientMatch* – *Sticky Client* no processo de *handover*. Primeiramente no ambiente de teste interno e logo após no externo, como descrito na Seção 5.4.1. Para o experimento em questão, foram utilizados os dispositivos móveis [D5, D6, D8, D9, D10 e D14] listados na Tabela 5.1. A motivação de testar tipos diferentes de clientes móveis, deve-se às orientações prestadas pelo corpo técnico do fabricante Aruba *Networks*, além da diversidade de equipamentos que utilizam a rede UnB *Wireless*. A Seção 6.5.1 apresenta o experimento realizado por meio da variação de parâmetros no ambiente de testes interno. As configurações utilizadas para habilitar e desabilitar a tecnologia *ClientMatch* da rede UnB *Wireless*, além da configuração dos parâmetros da funcionalidade *Sticky Client*, encontram-se no Apêndice C deste trabalho.

6.5.1 Variação dos Parâmetros do *Sticky Client* no Ambiente de Testes

A Tabela 6.9 apresenta todos os valores configurados para a tecnologia *ClientMatch* – *Sticky Client* e seus respectivos parâmetros, sendo os valores padrões listados na “Variação 01”. As configurações foram realizadas seguindo as orientações do fabricante [56] e por meio da Tabela 6.1. Além da configuração realizada para os parâmetros listados na Tabela 6.9, outras duas variáveis foram ajustadas: **Client Match report interval**

(1s) e **Client Match Sticky Check Interval (1s)**. O motivo da alteração das duas variáveis relatadas anteriormente é devido ao tempo que a tecnologia *ClientMatch* leva para atualizar a tabela VBR (do Inglês, *Virtual Beacon Report*) com informações utilizadas pela funcionalidade *Sticky Client*, onde o valor padrão do tempo de atualização do **Client Match report interval** é de 30s e o tempo de verificação do **Client Match Sticky Check Interval** é de 3s. De acordo com o manual [62], esses parâmetros podem ser variados na escala de [0,255] segundos.

Tabela 6.9: Variações parâmetros *Sticky Client*

Variação	Min Signal (dB)	SNR Threshold(dB)	Client Check SNR (dB)
1	70	10	25
2	80	8	30
3	85	4	35
4	90	2	40
5	65	10	18

Os parâmetros de distância de migração, potência do sinal recebido pelo usuário, SNR, ruído de fundo e atuação ou não do *ClientMatch - Sticky Client* foram coletados para posterior análise. Todos os dados, com exceção da distância de migração do usuário, foram coletados mediante o *software Aruba Utilities* e linha de comando executado no CLI (*Command-Line Interface*) da controladora de rede sem fio da UnB. Os comandos utilizados foram:

- **show ap association client-mac <mac-cliente>**: verifica se o cliente móvel encontra-se associado e fornece informações de ruído de fundo, SNR, dentre outros;
- **show ap arm virtual-beacon-report ap-name <nome-AP>**: reporta o VBR trocado entre o AP e um cliente específico, fornecendo a potência do sinal da comunicação entre o AP e o cliente móvel;
- **show ap arm client-match history client-mac <mac-cliente>**: reporta se houve alguma iteração da tecnologia *ClientMatch* com o usuário móvel;

Todos os testes foram realizados com tráfego de voz e se findaram logo após a transição do usuário móvel do AP01 para o AP02, ou ao chegar aos 65m, como mostra a Figura 5.9. Como relatado anteriormente, a tecnologia *ClientMatch* leva um tempo para atualizar a tabela VBR. Ao levarmos em consideração este fator, decidiu-se dividir o experimento em duas fases: mobilidade do cliente móvel “com” e “sem” paradas, os quais serão discutidos nas seções subsequentes.

Mobilidade do Cliente Móvel sem Paradas

As velocidades de locomoção do usuário móvel (Usr02) foram definidas em lento (0,58 a 0,75 m/s), normal (0,97 a 1,11 m/s) e rápido (1,11 a 1,28 m/s), sendo aferidas mediante o *software Runtastic Pedometer* [79], descrito na Seção 5.4.2.

No total, foram realizadas 294 avaliações, variando entre três a quatro repetições. Os resultados apresentaram maior número de transições no processo de *handover* por meio do próprio dispositivo, representando 72% de todas as avaliações realizadas, como é possível visualizar na Tabela 6.10. As atuações realizadas pelo próprio dispositivo mostraram ser 3,34 vezes superior às avaliações em que não ocorreram o processo de transição e 13,48 vezes sobre as atuações da tecnologia *ClientMatch – Sticky Client*. Além disso, os resultados apresentam um indicativo da tecnologia não estar voltada para clientes móveis em mobilidade, visto o baixo índice de atuação da tecnologia *ClientMatch – Sticky Client*, atuando somente 5,4% das vezes.

Tabela 6.10: Resultados cliente móvel sem paradas

Transição via Usuário Móvel (%)
72,8
Não ocorreu Transição (%)
21,8
Transição via <i>ClientMatch – Sticky Client</i> (%)
5,4

Mobilidade do Cliente Móvel com Paradas

Dado que o experimento em questão tem foco na mobilidade do cliente com paradas, os tempos foram definidos em 20, 40 e 60 segundos, a cada cinco metros. No total foram realizadas 222 avaliações, variando de duas a quatro repetições.

Como no experimento realizado com o cliente móvel sem paradas, o experimento em questão apresentou maior número de transições no processo de *handover* mediante o próprio dispositivo, representando 62,2% de todas as avaliações executadas, como é possível verificar na Tabela 6.11. Ao compararmos os resultados obtidos neste experimento, Tabela 6.11 com os resultados do experimento anterior, Tabela 6.10, observamos que houve uma melhoria com relação às atuações da tecnologia *ClientMatch – Sticky Client*. O experimento de “Mobilidade do Cliente Móvel com Paradas” apresentou 3,16 vezes mais atuações da funcionalidade *Sticky Client* que o experimento “Mobilidade do Cliente Móvel sem Paradas”. Os resultados apresentados neste experimento vêm reforçar a conclusão do experimento anterior, o qual diz haver indícios de que a tecnologia *ClientMatch – Sticky*

Client não está voltada para clientes móveis mediante mobilidade ou está direcionada para clientes semiestáticos.

Tabela 6.11: Resultados cliente móvel com paradas

Transição via Usuário Móvel (%)
62,2
Não ocorreu Transição (%)
20,7
Transição via <i>ClientMatch - Sticky Client</i> (%)
17,1

Mesmo com o fato de os resultados apresentados neste experimento terem tido melhorias nas avaliações da tecnologia *ClientMatch - Sticky Client*, a percentagem do quantitativo de atuações da tecnologia não foi satisfatória. Com isso, buscou-se analisar por meio dos dados coletados se os clientes móveis tinham condições de realizar o processo de transição. As análises foram realizadas na próxima seção.

Análises das Transições dos Clientes Móveis

Cabe relatar que para todas as variações configuradas de acordo com a Tabela 6.9, todos os dispositivos estavam aptos a realizar o processo de migração segundo o algoritmo apresentado na Figura 5.6. Tal afirmativa se faz devido às análises realizadas tanto para os experimentos sem paradas, quanto para os com paradas.

Para as análises, utilizaram-se o algoritmo apresentado na Figura 5.6, a Tabela 6.1 e os resultados coletados nos experimentos, como: potência do sinal recebido pelo usuário, SNR e ruído de fundo. Como forma de exemplificar as análises executadas, fora extraído um dos experimentos realizados com parada do cliente móvel, apresentado na Tabela 6.12. O resultado foi extraído de um dos testes realizados com a variação 03 configurada na rede, utilizando um *notebook* (dispositivo 8, de acordo com a Tabela 5.1), em que o tempo de parada foi de 60s. Para o exemplo em questão, não ocorreu o processo de transição.

Seguindo o algoritmo apresentado na Figura 5.6, de acordo com os parâmetros configurados na variação 03, observamos nos resultados da Tabela 6.12 que o primeiro parâmetro de comparação do algoritmo, `Client Match Sticky client check SNR`, cumpre com a condição quando o cliente móvel encontra-se aos 15 metros. Como é possível também observar na Figura 6.8, o cliente móvel está escutando o AP de destino a um sinal maior do que o valor configurado para o parâmetro `Client Match Sticky Min Signal`, cumprindo-se também a segunda etapa do algoritmo na distância em questão. Uma analogia passível de ser realizada é a utilização da Tabela 6.1.

Tabela 6.12: Exemplo teste 60s variação 03

Notebook (60 s)				
Distância	Potência Recebida (-dBm)	SNR	Ruído	
0	43	46	90	
5	45	41	91	
10	51	38	91	
15	61	30	91	
20	64	29	91	
25	68	23	91	
30	71	26	91	
35	74	18	91	
40	78	12	91	
45	78	14	91	
50	84	17	91	
55	86	12	91	
60	88	14	91	
65	93	9	92	

```
(WIFI-UNB-05) #show ap arm virtual-beacon-report ap-name AP-CPD-1-01-REDES
Interface:wifi0
Rx VBR Reports:0

No associated clients:
Interface:wifi1
Rx VBR Reports:217

Client MAC: [redacted]
Dual band:No
Active Voice:No
Steerable:Yes
Dual network capable:Yes
Current Association:00:24:6c:d8:[redacted]

Virtual Beacon Report
-----
AP          Channel  Signal (dBm)  Clients  Assoc
--          -
00:24:6c:d7:[redacted]  11        -33          0
00:24:6c:d8:[redacted]  5         -56          1      Y

```



Figura 6.8: Potência do sinal recebido pelo usuário móvel

A Tabela 6.1 mostra que o cliente móvel na distância de 15m recebe uma potência de sinal aproximadamente de -66 dBm do AP01. A distância de 15m do AP01 representa 5m do AP02. Ao analisarmos a Tabela 6.1, aos 5m do AP02, o cliente móvel recebe uma potência de sinal de aproximadamente -52,6 dBm, estando de acordo com o apresentado na Figura 6.8 e cumprindo o segundo parâmetro do algoritmo *Sticky Client*.

O terceiro parâmetro é o *Client Match SNR threshold*, no qual o SNR do cliente

móvel com relação ao AP de destino deve ser “ X ” dB melhor que o AP de origem, onde “ X ” representa o valor configurado para o parâmetro *Client Match SNR threshold*. Para que se cumprisse essa condição do algoritmo, o AP02 deveria estar 4 dB melhor que o AP01. Para analisar este parâmetro, foi utilizada a Tabela 6.1, pois as ferramentas de gerência da solução de rede sem fio da UnB, descritas na Seção 5.4.1, não disponibilizam o SNR do dispositivo móvel com relação ao AP02, uma vez que o mesmo encontrava-se associado no AP de origem, AP01.

Seguindo a mesma analogia realizada anteriormente, o dispositivo móvel na distância de 15m do AP01, encontra-se aproximadamente com SNR de 32,8 dB e aos 5m do AP02, o SNR é de 47,2 dB. Ao subtrairmos os dois valores, obtemos 14,4 dB. O resultado obtido indica que o AP02 encontra-se aproximadamente 14,4 dB melhor que o AP01, cumprindo a última condição do algoritmo *Sticky Client*.

Para as ocorrências em que o dispositivo móvel não migrou, a justificativa mais plausível é a dada por Carpenter [85], que relata sobre o problema da decisão de migração ficar a cargo do dispositivo móvel, uma vez que cada fabricante elabora o seu próprio algoritmo para o processo de *handover*, levando os clientes móveis a atuarem de formas distintas: migrando antes, depois ou até mesmo não migrando.

Após as análises realizadas com relação a não atuação dos dispositivos móveis, viu-se a necessidade de analisar os resultados obtidos para a tecnologia *ClientMatch – Sticky Client*, os quais serão apresentados na próxima seção.

Análise do *Sticky Client*

Como relatado anteriormente, as transições mediante a tecnologia *ClientMatch – Sticky Client* não ocorreram como se esperava, apresentando um nível de atuação relativamente baixo: 17,1% (com paradas) e 5,4% (sem paradas), sendo as variações 1, 2 e 5 as que apresentam os melhores resultados, conforme a Tabela 6.13. Como também é possível observar, a variação 2 foi a que apresentou melhores resultados nas atuações da funcionalidade *Sticky Client*, atuando 0,4% (com parada) e 0,7% (sem parada) a mais que a variação 01 e 4,9% (com parada) e 1,7% (sem parada) que a variação 05.

Como relatado anteriormente, foram testados alguns modelos de dispositivos móveis, sendo o *smartphone* (item D14 na Tabela 5.1) o que apresentou melhores resultados, atuando de forma condizente aos parâmetros configurados para as variações 01 e 02. As Tabelas 6.14 e 6.15 apresentam os resultados.

Mediante as Tabelas 6.14 e 6.15, é possível visualizar uma diminuição na distância de migração entre as variações 01 e 02, tanto para os testes realizados com parada, quanto para os sem parada. Para os testes com parada, Tabela 6.14, a diferença entre as distâncias de migração, de acordo com a variação configurada na rede e tempo de espera, estiveram

Tabela 6.13: Atuação do *ClientMatch* – *Sticky Client* por variação

Atuação <i>Sticky Client</i>		
Variação	Com Paradas (%)	Sem Paradas (%)
1	6,8	1,7
2	7,2	2,4
3	0,9	0,0
4	0,0	0,7
5	2,3	0,7
Total (%):	17,1	5,4

Tabela 6.14: Migração *smartphone Sticky Client* com parada

Com Parada	
Variação 01	
Tempo (s)	Distância de Migração
20	30,0
40	22,5
60	21,3
Variação 02	
Tempo (s)	Distância de Migração
20	18,1
40	18,8
60	17,5

Tabela 6.15: Migração *smartphone Sticky Client* sem parada

Sem Parada	
Variação 01	
Velocidade (m/s)	Distância de Migração
0,58 a 0,75	29,3
0,97 a 1,11	34,5
1,11 a 1,28	35,5
Variação 02	
Velocidade (m/s)	Distância de Migração
0,58 a 0,75	26,0
0,97 a 1,11	32,7
1,11 a 1,28	34,8

em: 11,9, 3,7 e 3,8 metros. Quanto aos testes sem parada, Tabela 6.15, a diferença entre as distâncias estiveram em: 3,3, 1,8 e 0,7 metros, de acordo com a variação e a velocidade de locomoção do usuário móvel. Outro fato que pode ser observado nos resultados obtidos, diz respeito ao tempo de parada e à velocidade de deslocamento do usuário. Quanto maior o tempo de parada e quanto menor a velocidade de deslocamento, menor é a distância de migração. Não foi possível explicar com exatidão o porquê do ocorrido, visto o tempo de atualização do *ClientMatch* ter sido configurado para 1s, não havendo, pois, justificativas plausíveis para atribuir o fato ao tempo de atualização da tabela VBR.

Devido os resultados apresentados para as variações 01 e 02 terem sido satisfatórios com relação a atuação da funcionalidade *Sticky Client* com o *smartphone*, decidiu-se aplicá-las à rede UnB *Wireless*, além da variação 05, que foi a terceira a apresentar melhor resultado em conformidade com a Tabela 6.13. O experimento será abordado na Seção 6.5.2.

6.5.2 Avaliação do *Sticky Client* na UnB *Wireless*

As configurações foram aplicadas em três controladoras, que detinham o gerenciamento da maior quantidade de usuários no período de teste, informação extraída do *software* de gerenciamento *AirWave* [6]. Os experimentos foram realizados em três dias da semana, no horário das 9h às 17h, em que uma variação foi configurada a cada dia. A coleta de dados foi executada mediante linha de comando no CLI de cada controladora, e os dados foram armazenados em arquivos de texto. O comando utilizado no experimento foi:

- **show ap arm client-match history:** fornece o histórico das ações da tecnologia *ClientMatch*. Mediante o comando é possível visualizar: hora em que ocorreu o evento, MAC do usuário, razão do evento (*Sticky*, *Band Steering*, *Load Balance*), entre outros;

A grande dificuldade na coleta dos dados foi a limitação da saída dos resultados após a execução do comando, pois só era possível coletar as últimas 32 ocorrências, havendo a necessidade de se repetir o comando várias vezes, mesmo modificando o tamanho do *buffer* dentro do sistema operacional da controladora. Após a coleta dos dados, foi necessário realizar o processo de limpeza para extrair as informações necessárias. A Tabela 6.16 lista a quantidade média de usuários envolvidos em cada variação, cujo quantitativo total por coleta realizada foi calculado por meio do somatório dos usuários presentes nas três controladoras utilizadas no experimento. Cabe frisar que a quantidade de usuários não é fator determinante para a análise das transições dos usuários por meio da tecnologia *ClientMatch – Sticky Client* e sim a mobilidade do usuário móvel, o qual estará sujeito à aplicação dos parâmetros configurados na rede.

Tabela 6.16: Quantidade usuários médio por variação

Usuários		
Variação 01	Variação 02	Variação 05
488	540	592

A Tabela 6.17 apresenta os resultados de sucesso e insucesso das atuações da tecnologia *ClientMatch – Sticky Client* de acordo com cada variação. Como é possível observar, a variação 02 foi a que apresentou maior número de sucessos na atuação do algoritmo *Sticky Client*, apresentando ganhos de 125,6% com relação à variação 01 e 153,9% com relação à variação 05. Ao verificarmos as atuações de sucessos com insucessos para cada variação, observamos que a variação 01 obteve 111,6% mais insucessos que sucessos; a variação 02, 76,1%; e a variação 05, 153,9%. Como podemos constatar, a variação 02 apresentou ganhos significativos com relação às outras variações.

Tabela 6.17: Atuações *Sticky Client* por variação

Atuações <i>Sticky Client</i>			
	Variação 01	Variação 02	Variação 05
Sucesso	601	1356	534
Insucesso	1272	2388	1356

Por meio dos dados coletados, foi também possível extrair a média do tempo de transição dos usuários que obtiveram sucesso na atuação *ClientMatch – Sticky Client*, listados na Tabela 6.18. Os tempos apresentados na Tabela 6.18 são considerados altos para aplicações sensíveis ao atraso. Recomenda-se tempo < 150 ms [15]. Não foi possível identificar mediante a ferramenta *Mobility Controller* a causa dos tempos elevados de transição, pois a ferramenta não fornece subsídios suficientes para a identificação de algum problema no processo de transição do cliente móvel.

Tabela 6.18: Tempo de *handover*

Tempo de Handover (s)		
Variação 01	Variação 02	Variação 05
4,3	4,2	4,4

6.6 Impacto dos Padrões 802.11k e 802.11r no *Handover*

Como relatado no Capítulo 2, um dos fatores que afetam diretamente a qualidade auditiva da voz em redes Wi-Fi é o processo de *handover*. Visto a solução de rede sem fio implantada na UnB dispor de recursos que ajudam o tráfego de voz no processo de *handover*, as tecnologias 802.11k e 802.11r serão avaliadas nas seções subsequentes.

6.6.1 IEEE 802.11k

O experimento em questão buscou avaliar e adequar o padrão IEEE 802.11k na rede sem fio da UnB em conjunto com a tecnologia de VoWiFi. Antes da execução dos testes, a rede UnB *Wireless* foi configurada de acordo com os principais manuais [63] [62] fornecidos pelo fabricante para a atual versão do sistema operacional presente na solução de rede sem fio da UnB. Cabe ressaltar que as configurações preliminares foram as padrões. Todas as configurações realizadas no ambiente encontram-se no Apêndice B. A princípio foram configurados na controladora de rede sem fio dois limiares, -55 e -60 dBm, visto os clientes móveis utilizados possuem limiares aproximados de -65 dBm, antecipando o processo de transição. Dados aferidos através da ferramenta Aruba *Utilities* [72].

Como bem enfatizam os guias de configuração [63] [62], para que a tecnologia funcione por completo é necessário que os dispositivos móveis também implementem o padrão. Os dispositivos utilizados nos testes foram: [D9, D11, D12 e D13]. Os APs foram posicionados na distância de 20m, onde o usuário móvel se deslocava do AP01 para o AP02, como apresenta a Figura 5.9. Todos os testes de mobilidade foram realizados com tráfego de voz, mediante chamadas telefônicas.

Após alguns testes, foi possível perceber que a tecnologia não atuou. Para tal, o seguinte comando foi executado: **show rrm dot11k beacon-report station-mac <mac-cliente>**. O comando mostra as mensagens de *beacon* (do Inglês, *Beacon Report*) enviadas do cliente móvel para o AP. Como é possível visualizar na Figura 6.9, nenhum *beacon* foi enviado. Além do comando executado anteriormente, verificou-se se o cliente estava antecipando o processo de transição. Para isso, fora observada a distância de migração com e sem o padrão habilitado na rede, cujos resultados não apresentaram diferenças na distância de transição do dispositivo móvel.

Visto a tecnologia não ter atuado após todas as configurações realizadas, não foi possível obter resultados conclusivos com respeito aos benefícios da tecnologia dentro da solução de rede sem fio da UnB. No Apêndice B, além do detalhamento de toda a configuração realizada no ambiente de rede sem fio da UnB com relação ao padrão

```
(WIFI-UNB-05) #show rrm dot11k beacon-report station-mac d0:22:be:
802.11K Beacon Report Details
-----
Channel  BSSID  Reg Class  Antenna ID  RSNI  RCPI  Meas. Mode
-----
Num Elements:0
```

Figura 6.9: Teste de funcionamento 802.11k

802.11k, encontram-se todos os comandos utilizados para certificação, na qual o ambiente estava configurado, e os clientes suportavam o padrão.

6.6.2 IEEE 802.11r

O experimento em questão buscou avaliar e adequar o padrão IEEE 802.11r no processo de transição do cliente móvel entre BSS. As configurações do padrão na rede seguiram passo a passo as recomendações dos manuais [63] [62] do fabricante, as quais se encontram no Apêndice A deste trabalho.

Para o experimento foram utilizados os dispositivos [D12 e D13], pois para o funcionamento dessa tecnologia é necessário que o cliente implemente o padrão. Os APs foram posicionados na distância de 20m, na qual o usuário móvel se deslocava do AP01 para o AP02, como apresenta a Figura 5.9. Todos os testes de mobilidade foram realizados com tráfego de voz, mediante chamadas telefônicas.

Como forma de certificar-se que as configurações realizadas estavam funcionando de acordo com as orientações prestadas nos manuais, testes iniciais foram executados. Após algumas avaliações, foi possível perceber que a tecnologia não atuou. Para tal, alguns comandos foram executados de forma a se constatar o percebido:

- **show ap debug dot11r state ap-name <nome-AP>**: mostra todas as chaves r1 armazenadas no AP;
- **show ap debug dot11r efficiency <client-mac>**: mostra a percentagem de erros e falhas das chaves r1 armazenadas no AP antes do processo de transição.

As Figuras 6.10 e 6.11 ilustram exemplos dos comandos executados na rede sem fio da UnB com o padrão habilitado. Como é possível visualizar, a saída dos comandos não teve resultados.

No Apêndice A, além do detalhamento de toda a configuração realizada no cenário de testes, encontram-se todos os comandos utilizados para certificação, na qual o ambiente estava configurado, e os clientes suportavam o padrão.

```
(WIFI-UNB-05) #show ap debug dot11r state ap-name "AP-CPD-1-01-REDES"

Stored R1 Keys
-----
Station MAC      Mobility Domain ID  Validity Duration  R1 Key
-----
Stored R0 Key Holder ID
-----
BSSID            R0 Key Holder ID
-----
00:24:6c:        00:0b:86:
```

Figura 6.10: Teste de funcionamento 802.11r – 01

```
(WIFI-UNB-05) #show ap debug dot11r efficiency 68:76:4f:
Fast Roaming R1 Key Efficiency
-----
Client MAC      Hit (%)  Miss (%)
-----
68:76:4f:      0 (0%)  0 (0%)
```

Figura 6.11: Teste de funcionamento 802.11r – 02

Tanto para o experimento com o padrão IEEE 802.11k, quanto o IEEE 802.11r, várias fontes foram avaliadas, como por exemplo, a comunidade Aruba *Airheads* [55], na qual foram pesquisadas e postadas dúvidas com respeito ao problema. O fato também foi reportado ao gerente técnico do fabricante no Brasil, e as propostas de solução estavam dentro do já pesquisado. Visto se exaurirem as linhas de pesquisa disponíveis com relação à solução de rede sem fio implantada na UnB, não foi possível obter resultados conclusivos sobre a utilização dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r configurados na rede sem fio da UnB.

6.7 Discussão dos Resultados Obtidos

Para os cenários que buscaram avaliar as tecnologias existentes na solução de rede sem fio da UnB, a tecnologia *ClientMatch – Sticky Client* mostrou estar mais voltada para usuários móveis “semi estáticos”, pois os melhores resultados de atuação da tecnologia ocorreram nos testes realizados com paradas, mesmo o tempo de atualização da tecnologia sendo alterado para o 1s. Mediante as análises realizadas, verificou-se que todos os clientes

móveis que migraram sem a atuação da tecnologia, ou que não realizaram o processo de transição tinham condições de migrar de acordo com os parâmetros configurados para a funcionalidade *Sticky Client*. Visto alguns dos testes terem apresentado resultados condizentes às configurações executadas, estas foram aplicadas em algumas localidades da Universidade, tendo a variação 02 apresentado ganhos significativos nas atuações do *ClientMatch – Sticky Client* com relação à variação 01 e 05. Os resultados demonstraram que a variação 02 obteve ganhos de 125,6% com relação à variação 01 e 153,9%, com relação à variação 05 nas atuações do *Sticky Client* que obtiveram sucesso. A variação 02 ainda apresentou a melhor relação entre as atuações de sucesso e insucesso.

Tanto para o experimento com o padrão IEEE 802.11k, quanto para o 802.11r, não foi possível obter resultados conclusivos, visto as tecnologias não terem atuado após todas as configurações e ajustes realizados. A explicação mais plausível para o fato encontra-se no quadrante mágico da *Gartner*. De acordo com o quadrante mágico fornecido pela *Gartner* [50], do ano de 2013, a empresa *Aruba Networks* encontra-se no quadrante “Líderes”, cujas empresas apresentam melhor visão tecnológica, com ampla capacidade de executar o que prometem. Como é possível também verificar, a fabricante encontra-se muito perto do quadrante das empresas visionárias, que têm fortes aspectos de inovação, mas que na prática suas ferramentas ainda não conseguem entregar o que propõem [76].

De acordo com os experimentos que buscaram avaliar o tráfego de voz mediante mobilidade, os resultados mostraram que ele é viável sobre a rede UnB *Wireless*, cujo nível de satisfação do usuário com respeito à qualidade auditiva da voz variou entre “Alguns Insatisfeitos” e “Muito Satisfeitos”. Mesmo com resultados satisfatórios, pôde-se observar que o processo de *handover* afeta serviços de tempo real mediante mobilidade e que precisa ser tratado para que se tenham melhorias na qualidade de serviço. Além do processo de *handover*, outro fator que impactou diretamente os resultados da qualidade auditiva da voz e que mostrou não ser viável para aplicações de tempo real foi a funcionalidade *ClientMatch – Band Steering*. Esta força o usuário móvel a realizar outro processo de autenticação ao movimentar o cliente da frequência de 2.4 para 5 GHz e vice-versa, quando suportadas pelo cliente as duas frequências. Com a funcionalidade *ClientMatch – Sticky Client* habilitada na rede, não foi possível chegar a resultados conclusivos se a tecnologia é benéfica para o tráfego de voz, pois a mesma não atuou nos testes realizados na Seção 6.3.

O distanciamento dos pontos de acesso em 20, 25 e 30 metros não foram tão impactantes para a qualidade auditiva da voz, mas demonstraram afetar os principais parâmetros que definem QoS em redes VoIP, especialmente no que tange à perda de pacotes. Com isso, para amenizar os efeitos de degradação na qualidade de serviço do sistema de VoWiFi na UnB, é necessário que se siga o recomendado pelo fabricante.

Os resultados apresentados para os testes realizados com o dispositivo móvel sem a possibilidade de alteração do parâmetro de *roaming* comprovaram o relatado por Carpenter [85], ou seja, visto os dispositivos implementarem seu próprio algoritmo para o processo de *handover*, eles podem atuar de formas distintas, migrando antes ou depois do limiar configurado no *firmware* da placa de rede. Podem até mesmo não migrar, fato que prejudicou os experimentos executados, degradando a qualidade de serviço. Para os testes realizados com variação de *roaming*, os resultados não apresentaram uma diferença significativa entre eles, mas foi possível observar que, dependendo do limiar configurado na placa de rede do usuário móvel, este pode degradar a qualidade de serviço em aplicações sensíveis ao atraso, sendo necessárias tecnologias, como IEEE 802.11k, que não deixem a tomada de decisão do processo de migração por conta do dispositivo móvel.

Para as avaliações de CODECs, o G711 foi o que apresentou melhor desempenho dentre os CODECs avaliados. A princípio, isso se deve ao fato de que o CODEC G711 possui maior *payload*, taxa de transmissão [4] e não haver competitividade pelo meio para a transmissão dos dados, uma vez que os experimentos foram realizados em ambiente “controlado”.

Capítulo 7

Conclusão e Trabalhos Futuros

Nos últimos anos, as redes sem fio têm possibilitado aos usuários acesso a Internet de locais diversificados e com diferentes finalidades. Uma das tecnologias é o padrão IEEE 802.11, a qual vem se destacando no mercado de telecomunicações.

A transmissão de voz sobre redes padrão IEEE 802.11, VoWiFi, é uma das aplicações que vem crescendo nesse tipo de rede, principalmente após a disseminação dos dispositivos móveis. Implantar VoWiFi ainda é um desafio, pois as redes sem fio estão sujeitas a vários tipos de interferência, necessitando de avaliações e adequações do cenário para que se possa ter um serviço de qualidade.

Este trabalho buscou avaliar o impacto da tecnologia *ClientMatch* e dos padrões IEEE 802.11k e 802.11r no suporte a mobilidade e tráfego de voz, observando o comportamento dos principais parâmetros de QoS em redes VoIP. Para alcançar os objetivos propostos, foi realizada uma revisão da bibliografia, abordando as redes sem fio, padrão IEEE 802.11, juntamente com sua evolução, formas de autenticação, mobilidade e padrões desenvolvidos para auxiliar serviços sensíveis ao atraso mediante mobilidade. Ademais, a tecnologia de Voz sobre IP foi apresentada, bem como os fatores que afetam a qualidade de serviço em redes VoIP, as técnicas e metodologias na aferição da qualidade auditiva da voz e a apresentação dos ambientes de rede sem fio e de voz implantados na UnB. Além do levantamento bibliográfico, foram analisados trabalhos científicos correlacionados com o tema proposto neste trabalho e os experimentos executados.

De acordo com os resultados apresentados no Capítulo 6, o qual trata dos experimentos realizados, foi possível chegar a algumas conclusões:

- A tecnologia *ClientMatch* – *Sticky Client* mostrou não estar voltada para o suporte a mobilidade, apresentando índices altos de insucesso nas atuações da tecnologia;
- Mesmo após todas as configurações, pesquisas e consultas técnicas ao fabricante *Aruba Networks*, as tecnologias 802.11k e 802.11r não atuaram;

- A rede da Universidade de Brasília está apta a trafegar voz mediante mobilidade, com níveis aceitáveis de sua qualidade auditiva, mas deve-se atentar para o parâmetro de *handover*, *ClientMatch* – *Band Steering* e o distanciamento entre os APs, que podem vir a prejudicar a qualidade de serviço de aplicações sensíveis ao atraso;
- Por fim, verificou-se o relato da literatura com relação ao deixar a tomada de decisão do processo de transição por conta do dispositivo móvel, onde o mesmo pode atuar de várias maneiras, afetando aplicações de tempo real, como VoWiFi.

Durante a elaboração deste documento surgiram algumas possibilidades de pesquisa que podem agregar maior valor a este trabalho. Visto a impossibilidade de tratá-los a tempo, foram deixados como trabalhos futuros. Dentre as possibilidades, destacam-se as seguintes:

- Repetição dos testes executados na Seção 6.3, com os parâmetros que apresentaram melhores resultados com a tecnologia *ClientMatch* – *Sticky Client*;
- Implementação e avaliação de IP *Mobility* na rede UnB *Wireless* mediante o processo de *handover*;
- Configuração de QoS na rede UnB *Wireless* e REDUnB;
- Análise do ambiente UnBVoIP para disponibilização à comunidade acadêmica;
- Avaliação da cobertura de sinal da rede UnB *Wireless*;
- Dimensionamento do tráfego de voz nos APs.

Referências

- [1] Martins A. UnB Wireless oferece até 300 megabytes por segundo. <http://goo.gl/pIab5p>. Último acesso em: 21 de julho de 2015. 1, 2
- [2] H. Ahmed e H. Hassanein. A performance study of roaming in wireless local area networks based on IEEE 802.11r. *Communications, 2008 24th Biennial Symposium*, pages 253 – 257, 2008. 42
- [3] S. M. Ali. Vowifi Roaming. Master of Science Thesis, School of Information and Communication Technology and Royal Institute of Technology, 2006. 39
- [4] A. B. Almeida. Medição de Qualidade de Voz em Wireless Utilizando CODECs G711, G729, G723 e GSM. Mestrado, Pontifica Universidade Catolica de Campinas, 2008. 1, 3, 6, 37, 60, 93
- [5] A. Jr. Almeida. Crescimento das redes sem fio sinaliza começo da década da mobilidade. <http://goo.gl/6tqN0z>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 6
- [6] Aruba. AirWave. <http://goo.gl/ketNMr>. Último acesso em: 15 de setembro de 2015. 2, 46, 53, 54, 61, 87
- [7] J. S. Barreto. Um Modelo de Migração de Ambiente IPv4 para IPv6 em uma Rede Acadêmica Heterogênea. Mestrado, Universidade de Brasília, 2015. 45, 46, 47, 48
- [8] B. C. Bispo. Otimização do Codificador de Voz CELP. Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 25
- [9] J. L. Bordim. *Introdução a Voz sobre IP e Asterisk*. RNP, 1.1.0 edition, 2010. 22, 24, 25
- [10] M. Brandl, D. Daskopoulos, E. Dobbelssteijn, R. G. Garroppo, J. Janak, J. Kuthan, S. Niccolini, J. Ott, S. Prella, S. Ubik, e E. Verharen. *IP Telephony Cookbook*. Terena, Germany, 2004. 26, 29
- [11] L. Chappell e G. Combs. *Wireshark (R) 101: Essential Skills for Network Analysis (Wireshark Solutions)*. Chappell University, San Jose - USA, 2013. 10, 64
- [12] Y. Chen, T. Farley, e N. Ye. QoS Requirements of Network Applications on the Internet. *Information Knowledge Systems Management*, 4(1):55 – 76, 2004. 30, 31
- [13] M. Ciampa. *CWNA Guide to Wireless LANs - Third Edition*. Cengage Learning, Boston, 2013. 6, 7, 54, 74

- [14] S. Colcher, A. T. A. Gomes, A. O. Silva, G. L. S. Filho, e L. F. G. Soares. *VoIP*. Editora CAMPUS, Primeira Edição edition, 2006. 21, 22, 23, 24, 25, 28
- [15] D. Coleman e D. Westcott. *CWNA - Certified Wireless Network Administrator*. Wiley Publishing, Indianapolis, Indiana - USA, 2013. 9, 10, 11, 15, 35, 58, 61, 76, 88
- [16] D. Coleman, D. Westcott, B. Harkins, e S. Jackman. *CWSP - Certified Wireless Security Professional Official*. Wiley Publishing, Indianapolis, Indiana - USA, 2010. 11, 12, 15, 16, 17, 74
- [17] A. F. Conceição, J. Li, e D. A. Florêncio. Transmissão de voz sobre redes iee 802.11: um levantamento dos principais problemas e restrições. pages 1 – 10, 2006. 11, 34
- [18] A. F. Conceição, J. Li, D. A. Florêncio, e F. Kon. Is IEEE 802.11 ready for VoIP ? *Multimedia Signal Processing*, 1(9287057):108 – 113, 2006. 34
- [19] CounterPath. X-lite. <http://goo.gl/4k2DYp>. Último acesso em: 02 de agosto de 2015. 22, 63
- [20] P. A. Couto. Estudo da Qualidade de Serviço de uma Aplicação VoIP em Ambientes Wireless com Handoff. Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. 9, 10, 26, 27, 37, 43
- [21] J. Davidson, J. F. Peters, M. Bhatia, S. Kalidindi, e S. Mukherjee. *Voice over IP fundamentals*. Cisco Press, Indianapolis, 2006. 20
- [22] Digium. Asterisk. <http://goo.gl/i6glWz>. Último acesso em: 30 de julho de 2015. 56
- [23] D. Edgar. IEEE 802.11. *The Internet Protocol Journal - CISCO*, 5(1), 2002. 1
- [24] Ekiga. Ekiga. <http://www.ekiga.org/>. Último acesso em: 13 de agosto de 2015. 63
- [25] ETSI. European Telecommunications Standards Institute. <http://goo.gl/H1kgZS>. Último acesso em: 07 de julho de 2015. 33
- [26] Fortt. Sistema de Comunicação BusinessPhone da Aastra. <http://goo.gl/M9RmGz>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 46
- [27] N. M. Gambhir. Objective Measurement of Speech Quality in VoIP over Wireless LAN during Handoff. Master of Science Thesis, San Jose State University, 2009. 38
- [28] M. S. Gast. *802.11 - Wireless Networks: The Definitive Guide - Second Edition*. O'Reilly Media, Sebastopol - USA, 2005. 5, 6, 7
- [29] B. L. Gi e S. Choi. *Broadband Wireless Access and Local Networks: Mobile Wimax and WiFi*. Artech House, USA, 2008. 13
- [30] Google. Csipsimple. <https://goo.gl/s31g1c>. Último acesso em: 13 de agosto de 2015. 63

- [31] P. Goransson e R. Greenlaw. *Secure Roaming In 802.11 Networks*. Elsevier, 30 Corporate Drive Suite 400 Burlington MA 01803 USA, 2007. 13, 17, 39
- [32] R. Horak. *Webster's New World Telecom Dictionary*. Webster's New World, first edition, 2007. 31
- [33] IEEE. 802.11k-2008 - part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs. <http://goo.gl/quxn7T>. Último acesso em: 01 de setembro de 2015. 13, 14, 36
- [34] IEEE. 802.11r-2008 - part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Fast Basic Service Set (BSS) Transition. <http://goo.gl/470Pcd>. Último acesso em: 01 de setembro de 2015. 15, 16, 18, 19, 36
- [35] IEEE. IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ANSI-IEEE Std 802.11. <http://goo.gl/0ZWiQU>. Último acesso em: 11 de agosto de 2015. 36
- [36] IEEE. IEEE Standards Association. <http://goo.gl/CHWkXr>. Último acesso em: 15 de setembro de 2015. 3, 6, 34, 46
- [37] IEEE. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. <http://goo.gl/1fGgxp>. Último acesso em: 01 de setembro de 2015. 9, 11
- [38] ITU-T. ITU Telecommunication Standardization Sector. <http://goo.gl/QeBtzU>. Último acesso em: 07 de julho de 2015. 31, 32
- [39] ITU-T. P.862 : Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. <http://goo.gl/ZXoyP1>. Último acesso em: 06 de julho de 2015. 41
- [40] ITU-T. P.800 - Metodos de Determinación Subjetiva de la Calidad de Transmisión. Technical Report 1, ITU Telecomunicaciones, 1998. 32, 33, 38
- [41] ITU-T. G.114 - Tiempo de transmisión en un sentido. Technical report, ITU Telecomunicaciones, 2003. 31
- [42] ITU-T. The E-model (G.107): a Computational Model for use in Transmission Planning. Technical Report 1, ITU Telecomunicaciones, 2011. 32, 33
- [43] S. Karapantazis e F-N. Pavlidou. VoIP: A comprehensive survey on a promising technology. *Computer Networks*, 1(53):2050 – 2090, 2009. 23, 25, 31
- [44] R. H. Katz. Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems. *Personal Communications, IEEE*, 1(1):6–17, 1994. 2
- [45] F. Kon, R. H. Campbell, e K. Nahrstedt. Using dynamic configuration to manage a scalable multimedia distribution system. *Computer Communication*, 24(1):105–123, 2001. 2

- [46] F. Kurose e K. W. Ross. *Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down*. Person Addison Wesley, third edition, 2006. 5, 6
- [47] Kurt. Openldap. <http://goo.gl/nHvBc3>. Último acesso em: 02 de agosto de 2015. 55
- [48] A. Lakas e M. Boulmalf. Experimental Analysis of VoIP over Wireless Local Area Networks. *Journal of Communication*, 2(4):1–7, 2007. 10, 36, 37
- [49] T. W. Linhares. Redução do Atraso de Transição em Redes sem Fio IEEE 802.11 para Usuários VoIP Móveis. Graduação, Instituto Federal de Santa Catarina, 2010. 12, 30, 43
- [50] Alcatel Lucent. 2013 Wired and Wireless Access LAN Magic Quadrant. <http://goo.gl/CvGPVI>. Último acesso em: 17 de setembro de 2015. 92
- [51] P. Machań e J. Wozniak. Proactive handover for IEEE 802.11r networks. *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2011 4th Joint IFIP*, pages 1 – 7, 2011. 42
- [52] L. A. R. Marinho. Metodologias de Avaliação de Qualidade de Fluxos de Voz. pages 1 – 21, 2007. 33, 34
- [53] E. Menin. *The Streaming Media Handbook*. Prentice Hall PTR, first edition, 2002. 2
- [54] A. Nankani. Horizontal Handoffs within WLANs: A detailed analysis and measurement concerning voice like traffic. Master of Science Thesis, School of Information and Communication Technology and Royal Institute of Technology, 2005. 5, 8, 40, 69
- [55] Aruba Networks. Airheads Community. <http://goo.gl/jDoKjo>. Último acesso em: 03 de maio de 2015. 91
- [56] Aruba Networks. Adaptive Radio Management and ClientMatch. <http://goo.gl/DM0yUp>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 52, 53, 80
- [57] Aruba Networks. ClientMatch Technology. <http://goo.gl/GSBE5e>. Último acesso em: 01 de setembro de 2015. 3, 49, 50
- [58] Aruba Networks. Infrastructure-Assisted Client Management using Synthesized Beacon Reports. <http://goo.gl/qNXRjy>. Último acesso em: 15 de setembro de 2015. 50
- [59] Aruba Networks. People move. Networks must follow. <http://goo.gl/tT2M5N>. Último acesso em: 15 de setembro de 2015. 48
- [60] Aruba Networks. Optimizing Aruba WLANs for Roaming Devices - V3.3. Technical report, Aruba Networks, 2009. 57, 61
- [61] Aruba Networks. The Definitive Guide to BYOD. Technical Report 1, Aruba Networks, Sunnyvale, CA 94089, 2011. 1

- [62] Aruba Networks. ArubaOS 6.3 - Command-Line Interface. Technical report, Aruba Networks, 2013. 17, 18, 51, 81, 89, 90, 111, 112
- [63] Aruba Networks. ArubaOS 6.3 - User Guide. Technical report, Aruba Networks, 2013. 17, 18, 48, 49, 50, 51, 54, 89, 90, 102, 112
- [64] Aruna Networks. Aruba 3000 Series Mobility Controllers. <http://goo.gl/qJem5y>. Último acesso em: 25 de agosto de 2015. 54
- [65] Aruna Networks. Aruba NetWorks - An HP Company. <http://www.arubanetworks.com/>. Último acesso em: 29 de agosto de 2015. 46
- [66] Aruna Networks. Aruba Networks and HP Combine Forces. <http://goo.gl/exS8oD>. Último acesso em: 29 de agosto de 2015. 48
- [67] Aruna Networks. Managed Wi-Fi and mobility services. <http://goo.gl/jpJ2hv>. Último acesso em: 29 de agosto de 2015. 53, 54
- [68] Fluke Networks. ClearSight. <http://goo.gl/xjnE1R>. Último acesso em: 25 de agosto de 2015. 64
- [69] Mitel Networks Corporation. Mitel. <http://www.mitel.com/>. Último acesso em: 24 de agosto de 2015. 47
- [70] H. PalSingh, S. Singh, JSingh, e S. A. Khan. VoIP: State of art for global connectivity – A critical review. *Journal of Network and Computer Applications*, 1(37):365 – 379, 2013. 21, 24, 32
- [71] B. O. Pinheiro. Voz sobre IP Utilizando Asterisk. Graduação, Universidade Federal de Lavras, 2005. 25
- [72] Google Play. Aruba Utilities. <https://goo.gl/o9DW6f>. Último acesso em: 19 de agosto de 2015. 64, 67, 89
- [73] K. V. Prasad. *Principles of Digital Communication Systems and Computer Networks*. Charles River Media INC., first edition, 2003. 20, 21, 22, 24
- [74] I. Prasetyo, M. Anif, A. Sriyanto, S. Pramono, S. Widodo, e S. S. Hidayat. Handover Analysis of Data and VoIP Services in 802.11b/g/n Wireless LAN. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(11):7832 – 7844, 2014. 39
- [75] Watson R. Understanding the IEEE 802.11ac Wi-Fi Standard. Technical report, Meru Networks, 2013. 6, 8
- [76] F. Rampinelli. Como analisar o Quadrante Mágico do Gartner para tomada de decisões. <http://goo.gl/AJhXw2>. Último acesso em: 17 de setembro de 2015. 92
- [77] U. ur Rehman. Analysis of Inter Wi-Fi Access Points Seamless Mobility. Master of Science Thesis, School of Information and Communication Technology and Royal Institute of Technology, 2010. 40, 41, 43

- [78] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, e E. Schooler. *RFC - 3261 - SIP: Session Initiation Protocol*. IETF, first edition, 2002. 26, 56
- [79] Runtastic. Runtastic Pedometer. <https://goo.gl/naSjEk>. Último acesso em: 19 de agosto de 2015. 65, 68, 82
- [80] H. Schulzrinne, Columbia University, S. Casner, Packet Design, R. Frederick, Blue Coat Systems Inc., e V. Jacobson. *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. IETF, first edition, 2003. 26, 29, 30
- [81] H. Schulzrinne, Columbia University, S. Casner, Packet Design, R. Frederick, Blue Coat Systems Inc., e V. Jacobson. *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications - RFC 3550*. <https://goo.gl/xSBQAm>. Último acesso em: 17 de agosto de 2015. 29
- [82] H. Sinnreich e A. B. Johnson. *Internet Communications Using SIP*. Wiley, first edition, 2006. 26, 28, 29
- [83] A. A. D. P. Souza e H. A. R. Paulo. Uso do Modelo E para Monitoramento de Qualidade de Voz em Tempo Real. *XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 1:849 – 862, 2011. 33, 41
- [84] E. Suzuki. Novos campi da UnB terão internet sem fio. <http://goo.gl/wKurPy>. Último acesso em: 15 de julho de 2015. 1
- [85] Carpenter T. e J. Barrett. *CWNA - Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide*. McGraw-Hill, United States of America, 2007. 9, 34, 85, 93
- [86] A. S. Tanenbaum. *Computer Networks*. Pearson, fifth edition, 2010. 6, 8, 21
- [87] Telealpha. Uma Visão Interna do MX-ONE. <http://goo.gl/ISu4Az>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 46
- [88] ITU Telecommunication. *Recomendação H.323*. ITU-T, Fifth edition, 2006. 56
- [89] I. Tsompanidis, G. Fortetsanakis, T. Hirvonen, e M. Papadopouli. Analyzing the impact of various wireless network conditions on the perceived quality of VoIP. *Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN)*, pages 1–6, 2010. 41
- [90] Xirrus. Xirrus. <http://goo.gl/5NmaHb>. Último acesso em: 02 de agosto de 2015. 64

Apêndice A

Configurações Utilizadas no 802.11r

Configurações do padrão IEEE 802.11r aplicadas à rede UnB *Wireless*:

1. Para habilitar o padrão IEEE 802.11r na solução de rede sem fio da UnB, fora criado um perfil 802.11r associado ao SSID, UnB *Wireless*, dentro de um *Virtual AP*. Os passos a seguir detalham as ações realizadas:
 - (a) Logo após realizar o processo de **login**, através da interface *web* disponibilizada pela solução, navegou-se pelas abas: **Configuration > Wireless > AP Configuration**. Na janela **AP Group** fora selecionada a controladora que gerencia os APs utilizados nos experimentos, no caso, a controladora 05. A Figura A.1 apresenta os passos de acordo com as informações supracitadas;
 - (b) Em **Profiles**, seguiu-se a seguinte sequência: **Wireless LAN > Virtual AP**. Dentro de **Virtual AP** foi selecionado o perfil utilizado para atender aos colaboradores da UnB e logo após **SSID > 802.11r**. A Figura A.2 lista as ações realizadas;
 - (c) A Figura A.3 mostra o novo perfil criado dentro do **Profile 802.11r** – “DOT11r-TESTE_MESTRADO”;
 - (d) Após o término de todas as configurações, estas foram aplicadas à rede através dos *links* **Apply > Save Configuration**.

Obs.: As configurações foram realizadas via interface *web*, de acordo com o manual do fabricante [63].

Como forma de certificar-se que as configurações foram bem aplicadas na rede, utilizaram-se os seguintes comandos via CLI:

- **show wlan dot11r-profile e show wlan dot11r-profile:** comando utilizado para listar os perfis 802.11r e os detalhes da configuração. Como é possível visualizar por meio da Figura A.4 o comando **show wlan dot11r-profile** mostra

[Dashboard](#) | [Monitoring](#) | **[Configuration](#)** | [Diagnostics](#) | [Maintenance](#) | [Save Configuration](#)

Configuration > AP Group

AP Group	AP Specific
BCE 01 - ACESSO	Delete
BCE 01 - MONITOR	Delete
BCE 02 - ACESSO	Delete
BCE 02 - MONITOR	Delete
BCE 03 - ACESSO	Delete
BCE 03 - MONITOR	Delete
BCE 04 - ACESSO	Delete
BCE 04 - MONITOR	Delete
BCE 05 - ACESSO	Delete
BCE 05 - MONITOR	Delete
BCE 06 - ACESSO	Delete
CONTROLADORA 01 - ACESSO	Delete
CONTROLADORA 01 - MONITOR	Delete
CONTROLADORA 02 - ACESSO	Delete
CONTROLADORA 02 - CGEE	Delete
CONTROLADORA 02 - MONITOR	Delete
CONTROLADORA 03 - ACESSO	Delete
CONTROLADORA 03 - MONITOR	Delete
CONTROLADORA 04 - ACESSO	Delete
CONTROLADORA 04 - MONITOR	Delete
CONTROLADORA 05 - ACESSO	Delete

Figura A.1: Seleção do *AP Group*

que o perfil “DOT11r-TESTE_MESTRADO” está criado (“*References (1)*”). A figura também mostra os detalhes dos parâmetros associados ao perfil “DOT11r-TESTE_MESTRADO” mediante o campo “*Value*”;

- **show wlan ssid-profile:** o comando foi utilizado para listar o perfil 802.11r habilitado no SSID utilizado na solução de rede sem fio da UnB, como é possível visualizar na Figura A.5;
- **show ap active:** A Figura A.7 exhibe a execução do comando, o qual objetiva verificar se o AP estava com o padrão 802.11r habilitado. Por meio da figura é possível visualizar o nome do AP e que o mesmo estava com o padrão habilitado. O campo “*Flags*” mostra o padrão 802.11r habilitado;
- **show ap association client-mac:** A Figura A.6 apresenta os parâmetros de um usuário associado na rede UnB *Wireless*. Mediante o campo “*Flags*” é possível

[Dashboard](#) | [Monitoring](#) | **[Configuration](#)** | [Diagnostics](#) | [Maintenance](#) | [Save Configuration](#)

Configuration > AP Group > Edit "CONTROLADORA 05 - ACESSO"

WIZARDS

- AP
- Controller
- Campus WLAN
- Remote AP
- WIP
- AirWave

NETWORK

- Controller
- VLANs
- Ports
- Cellular Profile
- IP

SECURITY

- Authentication
- Access Control

WIRELESS

- > **AP Configuration**
- AP Installation

Profiles

- [-] Wireless LAN
 - [-] Virtual AP
 - [-] VAP_COLABORADORES5
 - [+] AAA AAA_COLABORADORES
 - [+] 802.11K default
 - Hotspot 2.0 default
 - [-] SSID SSID_COLABORADORES
 - EDCA Parameters Station
 - EDCA Parameters AP
 - High-throughput SSID default
 - 802.11r** default

Figura A.2: Acesso a configuração do 802.11r

Profile Details

802.11r Profile > DOT11r-TESTE_MESTRADO
[Show Reference](#) | [Save As](#) | [Reset](#)

Advertise 802.11r Capability	<input checked="" type="checkbox"/>
802.11r Mobility Domain ID	1
802.11r R1 Key Duration	3600

Figura A.3: Parâmetros 802.11r configurados

observar que o dispositivo do usuário suporta o padrão 802.11r. Para isto, o padrão deve estar habilitado na rede;

```
(WIFI-UNB-05) #show wlan dot11r-profile

802.11r Profile List
-----
Name                               References  Profile Status
-----
default                             0
DOT11r-TESTE_MESTRADO              1
DOT11r_TESTE02_MESTRADO            0

Total:3

(WIFI-UNB-05) #show wlan dot11r-profile DOT11r-TESTE_MESTRADO

802.11r Profile "DOT11r-TESTE_MESTRADO"
-----
Parameter                           Value
-----
Advertise 802.11r Capability         Enabled
802.11r Mobility Domain ID          1
802.11r R1 Key Duration              3600
802.11r R1 Key Assignment            dynamic
```

Figura A.4: Perfis e parâmetros 802.11r configurados

```
(WIFI-UNB-05) #show wlan ssid-profile SSID_COLABORADORES

SSID Profile "SSID_COLABORADORES"
-----
Parameter                           Value
-----
SSID enable                           Enabled
ESSID                                  UNB Wireless
802.11r Profile                        DOT11r-TESTE_MESTRADO
```

Figura A.5: SSID com 802.11r habilitado

```
(WIFI-UNB-05) #show ap association client-mac c0:f2:fb:
The phy column shows client's operational capabilities for current association
Flags: A: Active, B: Band Steerable, H: Hotspot(802.11u) client, K: 802.11K client, R: 802.11R client, W: WMM client, w: 802.11w client
PHY Details: HT : High throughput; 20: 20MHz; 40: 40MHz
VHT : Very High throughput; 80: 80MHz; 160: 160MHz; 80p80: 80MHz + 80MHz
<n>ss: <n> spatial streams

Association Table
-----
Name      bssid      mac          auth  assoc  aid  l-int  essid      vlan-id  tunnel-id  phy          assoc. time  num assoc  Flags
-----
AP-CEU-A-209 9c1c:12: c0:f2:fb: y y 1 20 UNB Wireless 833 0x10210 g-HT-20sgi-1ss 7m:19s 1 WKRRAB
```

Figura A.6: 802.11r habilitado no usuário

```
(WIFI-UNB-05) #show ap active ap-name AP-CPD-1-01-REDES

Active AP Table
-----
Name      Group      IP Address  l1g Clients  l1g Ch/EIRP/MaxEIRP  l1a Clients  l1a Ch/EIRP/MaxEIRP  AP Type  Flags  Uptime  Outer IP
-----
AP-CPD-1-01-REDES CONTROLADORA 05 - ACESSO 172.30.250.11 3 AP:HT:7+/20/20 0 AP:HT:116+/20/20 125 AaRr 7d:22h:29m:23s N/A

Flags: 1 = 802.1x authenticated AP; 2 = Using IKE version 2;
A = Emet1 in active/standby mode; B = Battery Boost On; C = Cellular;
D = Disconn. Extra Calls On; E = Wired AP enabled; F = AP failed 802.1x authentication;
H = Hotspot Enabled; K = 802.11K Enabled; L = Client Balancing Enabled; M = Mesh;
N = 802.11b protection disabled; P = PPPOE; R = Remote AP;
S = AP connected as standby; X = Maintenance Mode;
a = Reduce ARP packets in the air; d = Drop Mcast/Bcast On; u = Custom-Cert RAP;
r = 802.11r Enabled
```

Figura A.7: 802.11r habilitado no AP

Apêndice B

Configurações Utilizadas no 802.11k

Configurações do padrão IEEE 802.11k aplicadas na rede UnB *Wireless*.

1. Para habilitar o padrão IEEE 802.11k na solução de rede sem fio da UnB, fora criado um perfil 802.11k dentro de um **Virtual AP**. Os passos a seguir detalham as ações realizadas:
 - (a) Após realizar o processo de **login**, mediante a interface *web* disponibilizada pela solução, navegou-se pelas abas: **Configuration > Wireless > AP Configuration**. Na janela **AP Group** fora selecionada a controladora que gerencia os APs utilizados nos experimentos, no caso, a controladora 05. A Figura A.1 apresenta os passos de acordo com as informações supracitadas;
 - (b) Em **Profiles**, seguiu-se a seguinte sequência: **Wireless LAN > Virtual AP**. Dentro de **Virtual AP** foi selecionado o perfil utilizado para atender aos colaboradores da UnB e logo após **802.11k**. A Figura B.1 apresenta os passos relatados anteriormente e os campos associados ao 802.11k, como por exemplo: “*Handover Trigger Feature Settings*”;
 - (c) Dentro do **Profile 802.11k** foram criados novos perfis associados ao padrão IEEE 802.11k. A Figura B.2 apresenta os valores configurados para o perfil 802.11k, denominado de “DOT11k-TESTE_MESTRADO”. A Figura B.3 exibe os valores configurados para o perfil “DOT11K-TESTE-THRESHOLD”, que está relacionado ao limiar em que o cliente móvel deve iniciar o processo de transição. O perfil “DOT11K-TESTE-RRM”, apresentado na Figura B.4, condiz com as configurações executadas para o gerenciamento de recurso do rádio. A Figura B.5 apresenta os parâmetros configurados para o perfil “DOT11K-TESTE-BEACON”, o qual está relacionado ao envio das mensagens de *beacon report*. Por fim, a Figura B.6 mostra o perfil criado para os relatórios TSM

(“DOT11K-TESTE-TSM”). Cabe ressaltar que as configurações apresentadas nas figuras supradescritas são os valores padrões;

- (d) Após o término de todas as configurações, estas foram aplicadas à rede por meio dos *links* **Apply > Save Configuration**.

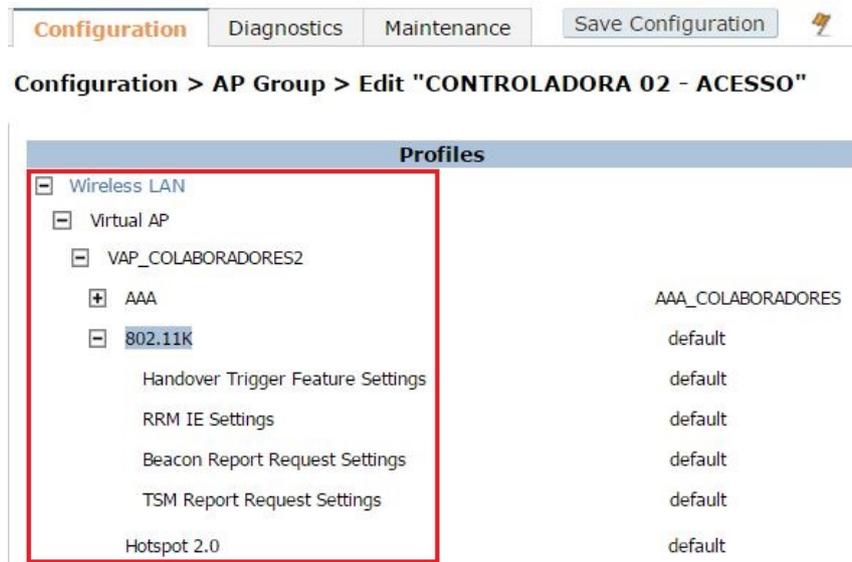


Figura B.1: Acesso a configuração do 802.11k

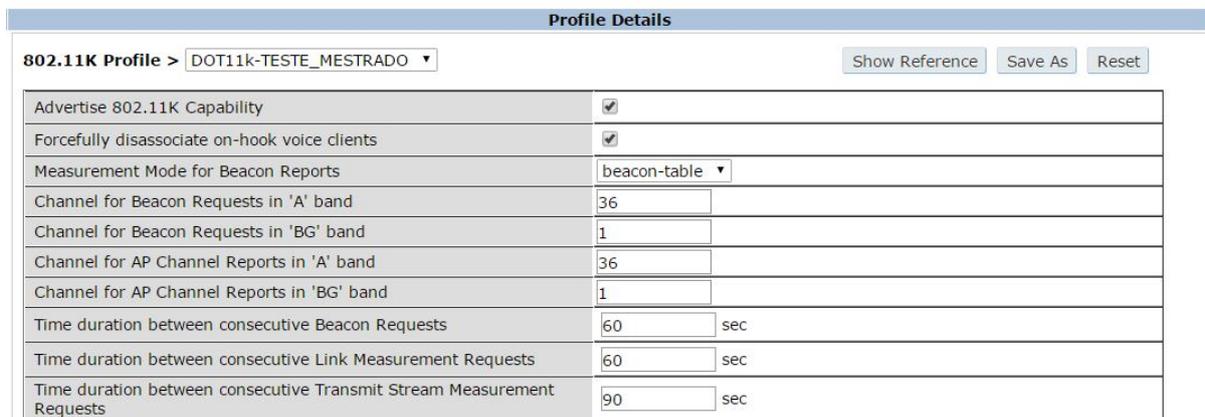


Figura B.2: Perfil 802.11k

- **show wlan dot11k-profile** e **show wlan dot11k-profile <nome_perfil>**: comando utilizado para listar os perfis 802.11k e os detalhes da configuração. Como é possível visualizar por meio da Figura B.7, o comando **show wlan dot11k-profile** mostra que o perfil “DOT11k-TESTE_MESTRADO” está criado (“*References*

Profile Details	
Handover Trigger Feature Settings > DOT11K-TESTE-Threshold ▾	
<a>Show Reference <a>Save As <a>Reset	
Enable Handover Trigger feature	<input checked="" type="checkbox"/>
Threshold signal strength value at which Handover Trigger should be sent to the client	60 -dBm

Figura B.3: Perfil *Handover Trigger*

Profile Details	
RRM IE Settings Profile > DOT11K-TESTE-RRM ▾	
<a>Show Reference <a>Save As <a>Reset	
Advertise Enabled Capabilities IE	<input checked="" type="checkbox"/>
Advertise Country IE	<input checked="" type="checkbox"/>
Advertise Power Constraint IE	<input checked="" type="checkbox"/>
Advertise TPC Report IE	<input checked="" type="checkbox"/>
Advertise QBSS Load IE	<input checked="" type="checkbox"/>
Advertise BSS AAC IE	<input checked="" type="checkbox"/>
Advertise Quiet IE	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura B.4: Perfil RRM

Profile Details	
Beacon Report Request Settings > DOT11R-TESTE-BEACON ▾	
<a>Show Reference <a>Save As <a>Reset	
Interface	1
Regulatory Class	12 ▾
Channel	255
Randomization Interval	0
Measurement Duration	0
Measurement Mode for Beacon Reports	beacon-table ▾
Reporting Condition	0
ESSID Name	UNB Wireless
Reporting Detail	<input type="checkbox"/>
Measurement Duration Mandatory	<input type="checkbox"/>
Request Information values	

Figura B.5: Perfil *Beacon Report*

Profile Details	
TSM Report Request Settings > DOT11R-TESTE-TSM ▾	
<a>Show Reference <a>Save As <a>Reset	
Request Mode for TSM Report Request	normal ▾
Number of repetitions	65535
Duration Mandatory	<input checked="" type="checkbox"/>
Randomization Interval	0
Measurement Duration	9776
Traffic ID	96
Bin 0 Range	6

Figura B.6: Perfil *TSM Report*

(2)”). A figura também apresenta os detalhes dos parâmetros associados ao perfil “DOT11k-TESTE_MESTRADO” mediante o campo “*Value*”, apresentado por meio do comando `show wlan dot11k-profile <nome_perfil>`;

- **show ap active:** A Figura A.7 exibe a execução do comando, o qual objetiva verificar se o AP estava com o padrão 802.11k habilitado. Por meio dessa figura é possível visualizar o nome do AP e que o mesmo estava com o padrão habilitado por meio do campo “*Flags*” (**k** indica o padrão habilitado);
- **show ap association client-mac:** A Figura B.8 apresenta os parâmetros de um usuário associado na rede UnB *Wireless*. Mediante a identificação das *Flags* é possível observar que o dispositivo do usuário suporta o padrão 802.11k. Para isso, o padrão deve estar habilitado na rede;

```
(WIFI-UNB-05) #show wlan dot11k-profile

802.11K Profile List
-----
Name                References  Profile Status
-----
default             52
DOT11k-TESTE_MESTRADO 2

Total:2

(WIFI-UNB-05) #show wlan dot11k-profile DOT11k-TESTE_MESTRADO

802.11K Profile "DOT11k-TESTE_MESTRADO"
-----
Parameter                                     Value
-----
Advertise 802.11K Capability                   Enabled
Forcefully disassociate on-hook voice clients Enabled
Measurement Mode for Beacon Reports           beacon-table
Channel for Beacon Requests in 'A' band       36
Channel for Beacon Requests in 'BG' band      1
Channel for AP Channel Reports in 'A' band    36
Channel for AP Channel Reports in 'BG' band   1
Time duration between consecutive Beacon Requests 60 sec
Time duration between consecutive Link Measurement Requests 60 sec
Time duration between consecutive Transmit Stream Measurement Requests 90 sec
Handover Trigger Feature Settings             DOT11k-TESTE-Threshold
RRM IE Settings Profile                       DOT11k-TESTE-RRM
Beacon Report Request Settings               DOT11R-TESTE-BEACON
TSM Report Request Settings                  DOT11R-TESTE-TSM
```

Figura B.7: Perfis e parâmetros 802.11k configurados

```
(WIFI-UNB-05) #show ap association client-mac c0:f2:fb:
The phy column shows client's operational capabilities for current association
Flags: A: Active, B: Band Steerable, H: Hotspot(802.11u) client, K: 802.11K client, R: 802.11R client, W: WMM client, w: 802.11w client
PHY Details: HT : High throughput; 20: 20MHz; 40: 40MHz
              VHT : Very High throughput; 80: 80MHz; 160: 160MHz; 80p80: 80MHz + 80MHz
              <n>ss: <n> spatial streams
Association Table
-----
Name      bssid      mac          auth  assoc  aid  l-int  essid      vlan-id  tunnel-id  phy          assoc. time  num assoc  Flags
-----
AP-CEU-A-209 9c:1c:12:  c0:f2:fb:  y     y      1   20     UNB Wireless  833      0x10077    g-HT-20sgi-1ss 55s         1         WRAB
```

Figura B.8: 802.11k habilitado no usuário

Apêndice C

Configurações Utilizadas no *ClientMatch*

Para um melhor entendimento, as configurações da tecnologia Aruba *ClientMatch* aplicadas na rede UnB *Wireless* serão apresentadas em etapas. A **primeira** apresenta a forma como habilitar e desabilitar a tecnologia *ClientMatch*. A **segunda** apresenta os passos seguidos para alterar o tempo de atualização das informações do *ClientMatch*. A **última** exibe a configuração dos parâmetros com relação à tecnologia *ClientMatch – Sticky Client*.

Etapa 01

Para habilitar ou desabilitar a tecnologia *ClientMatch* na rede *UnB Wireless*, os seguintes passos foram seguidos:

1. Após o processo de *login*, a seguinte sequência foi executada: **Configuration > Wireless > AP Configuration**. Na janela **AP Group** fora selecionado a controladora que gerencia os APs utilizados nos experimentos, no caso, a controladora 05. A Figura A.1 ilustra os passos de acordo com as informações supracitadas;
2. Na janela **Profiles** fora executado: **RF Management > 802.11a radio> Adaptive Radio Management**. Após a execução dos passos anteriores, em **Profile Details**, a aba **Advanced** foi selecionada e a opção **ClientMatch** desabilitada. As etapas anteriores repetiram-se para o perfil **802.11g radio**. A Figura C.1 ilustra as ações realizadas;
3. Ao término das configurações de cada perfil, estas foram aplicadas à rede por meio dos *links* **Apply > Save Configuration**;

Etapa 02

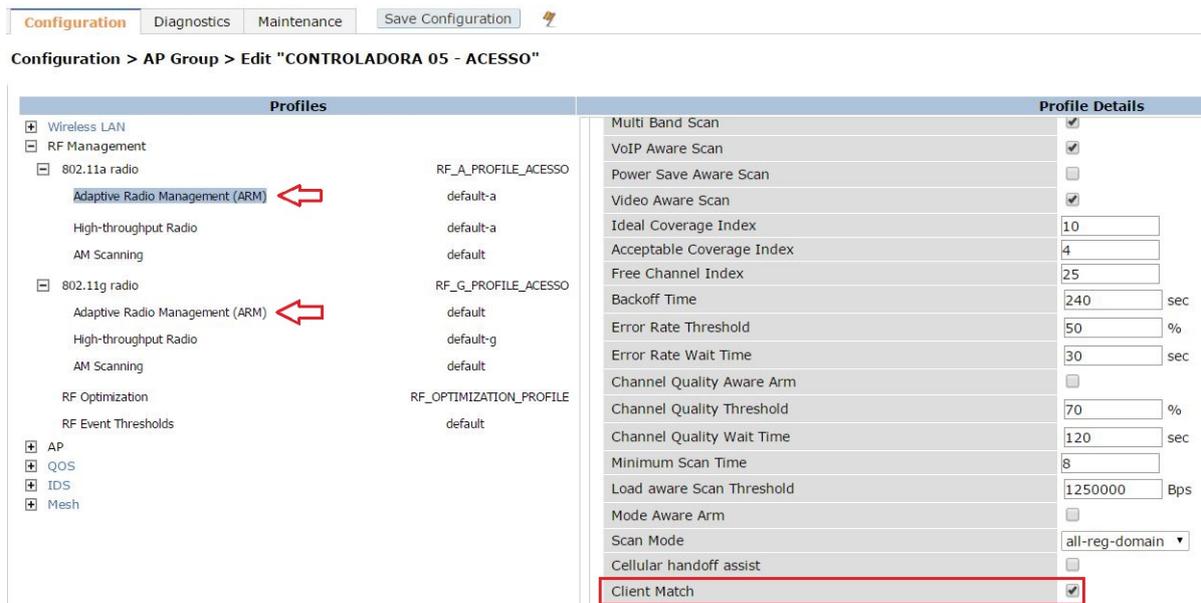


Figura C.1: *ClientMatch*

O tempo de atualização das informações do *ClientMatch* foi configurado mediante CLI. Ao finalizar o processo de *login*, os seguintes comandos foram executados:

1. `configure terminal > rf arm-profile default > cm-report-interval 30`. A mesma configuração foi repetida para os perfis **default-a** e **default-g**, os quais estão vinculados ao perfil **802.11a radio** e **802.11g radio**. Cabe ressaltar que o valor configurado para este parâmetro é o padrão [62]. A variação de valores deste parâmetro está descrito no Capítulo 6;
2. Ao término das configurações de cada perfil, estas foram aplicadas à rede por meio do comando `write memory`;

Etapa 03

Da mesma forma que a etapa anterior, utilizou-se o CLI para a configuração da tecnologia *ClientMatch* – *Sticky Client*. Os seguintes comandos foram executados:

1. `configure terminal > rf arm-profile default > cm-sticky-check-interval 3 / cm-sticky-snr 30 / cm-sticky-snr-delta 10 / cm-sticky-min-signal 70`. Cabe ressaltar que os valores apresentados em cada parâmetro são os valores padrões [62]. A variação dos valores de cada parâmetro supracitado, está descrito no Capítulo 6. Para cada variação realizada nos experimentos, no que tange aos testes realizados com o *ClientMatch* – *Sticky Client*, foi repetida a mesma configuração para os perfis **default-a** e **default-g**, os quais estão vinculados ao perfil **802.11a radio** e **802.11g radio**;

2. Ao término das configurações de cada perfil, estas foram aplicadas à rede mediante o comando **write memory**;

Como forma de certificar-se que as configurações tiveram êxito, utilizou-se os seguintes comandos via CLI:

- **show rf arm-profile**: comando utilizado para listar a configuração dos perfis atrelados ao *Adaptive Radio Management*: **default**, **default-a** e **default-g**. Cabe lembrar que para cada perfil, o comando supracitado fora executado. Na Figura C.2 são ilustrados três pontos: o primeiro mostra o perfil configurado. O segundo apresenta o tempo de atualização do *ClientMatch* e se a tecnologia encontra-se habilitada na rede. O terceiro está relacionado aos valores configurados para o *ClientMatch - Sticky Client*;

Obs.: Todas as configurações foram executadas na controladora **Principal** e seguiram as orientações dos manuais do fabricante [63] [62].

```
(WIFI-UNB-05) #show rf arm-profile default
```

Parameter	Value
Assignment	single-band
Allowed bands for 40MHz channels	g-only
80MHz support	Disabled
Client Aware	Enabled
Max Tx EIRP	127 dBm
Min Tx EIRP	33 dBm
Rogue AP Aware	Disabled
Scan Interval	10 sec
Aggressive scanning	true
Active Scan	Disabled
ARM Over the Air Updates	Enabled
Scanning	Enabled
Multi Band Scan	Enabled
VoIP Aware Scan	Enabled
Power Save Aware Scan	Disabled
Video Aware Scan	Enabled
Ideal Coverage Index	10
Acceptable Coverage Index	4
Free Channel Index	25
Backoff Time	240 sec
Error Rate Threshold	50 %
Error Rate Wait Time	30 sec
Channel Quality Aware Arm	Disabled
Channel Quality Threshold	70 %
Channel Quality Wait Time	120 sec
Minimum Scan Time	8
Load aware Scan Threshold	1250000 Bps
Mode Aware Arm	Disabled
Scan Mode	all-reg-domain
Cellular handoff assist	Disabled
Client Match	Enabled
Client Match report interval (sec)	30
Allows Client Match to automatically clear unsteerable clients after ageout	Enabled
Client Match Unsteerable Client Ageout Interval	2 Days 0 Hours
Client Match Band Steer A Band Min Signal (-dBm)	75
Client Match Sticky Client Check Interval (sec)	3
Client Match Sticky client check SNR (dB)	25
Client Match SNR threshold(dB)	8
Client Match Sticky Min Signal	70

Figura C.2: Parâmetros *ClientMatch*