

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

TIAGO ANGELI CAVALIÉRI

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO WI-FI
UTILIZANDO REDES MESH DE BAIXO CUSTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

TIAGO ANGELI CAVALIÉRI

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO WI-FI
UTILIZANDO REDES MESH DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Bacharel em Computação”.

Orientador: Prof. Me. Gloria Patricia Lopez Sepulveda

MEDIANEIRA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO WI-FI UTILIZANDO REDES MESH DE BAIXO CUSTO

Por

TIAGO ANGELI CAVALIÉRI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09:10h do dia 08 de novembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no Curso de Ciência da Computação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Msc. Gloria Patricia Lopez Sepulveda
UTFPR - Câmpus Medianeira

Prof. Dr. Neylor Michel
UTFPR - Câmpus Medianeira

Prof. Dr. Paulo Lopes de Menezes
UTFPR - Câmpus Medianeira

Prof. Msc. Jorge Aikes Junior
UTFPR - Câmpus Medianeira

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

CAVALIÉRI, Tiago Angeli. IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO WI-FI UTILIZANDO REDES MESH DE BAIXO CUSTO. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Cada vez mais se torna notória a busca do ser humano por tecnologias que tragam internet a todos os lugares do globo e se possível a custos baixos. Neste contexto, as Redes Mesh são grandes facilitadoras desse processo, pois a custos ínfimos traz a web e todo seu poder de comunicação, aprendizado e entretenimento a quaisquer ambientes onde seja preciso.

As Redes Sem Fio Mesh recentemente emergiram com alto teor de robustez, pois suportam clientes que se comunicam com diferentes tipos de aparelhos(celular, notebook, tablet...) oferecendo internet de forma segura e com qualidade; Sua estrutura consiste em roteadores próprios e clientes que podem agir como roteadores, conferindo a tecnologia um grau alto quando se fala em mobilidade.

Experiências realizadas ao redor do mundo, demonstram como as Redes Mesh podem melhorar o contexto de toda uma sociedade, culminando que existam cidades com até 400 mil pessoas utilizando-se de uma mesma rede.

Este trabalho tem como objetivo delinear uma métrica para aplicar uma Rede Mesh, seja tratando-se de testes de simulação em ambiente acadêmico, como também implantação para utilização da comunidade que entorna o câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pretende-se, para isto, avaliar os custos e outras tecnologias eficientes para WMAN.

Palavras-chave: Comunicação Sem Fio, WMAN, Internet de Baixo Custo

ABSTRACT

CAVALIÉRI, Tiago Angeli. IMPLEMENTATION AND WI-FI PERFORMANCE ANALYSIS USING MESH NETWORKS OF LOW COST. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

The search of the human being technologies that bring Internet to all places of the globe, and if possible at low cost, is becoming more notorious. In this context, Mesh Networks greatly facilitate this process, because the tiny costs brings the web and all his power of communication, learn and entertainment to any environment where it is needed.

Networks Wireless Mesh recently emerged with a high level of robustness as they support clients that communicate with different types of devices (mobile phone, notebook, tablet, ...) offering safely and quality internet; This structure consists of own routers and clients that can act as routers, giving to the technology a high degree when it comes to mobility.

Experiments conducted around the world show how the Mesh networks can improve the context of a whole society, culminating there are cities with up to 400,000 people using the same network.

This paper aims to outline a metric to apply a Mesh Network, whatever if is the case of simulation tests in an academic environment or as deployment to use the community that spills the Medianeira campus of the Federal Technological University of Paraná. It is intended for this, evaluate the costs and study about other efficient technologies por WMAN.

Keywords: Wireless communication, WMAN, Low Cost Internet

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Criador, pela vida e por me permitir estar aqui neste momento. Mesmo Criador que mandou Sua Mãe para iluminar os caminhos e rogar por proteção durante toda essa estrada.

À minha família, que mesmo longe se fez presente, rezando, ligando e passando força de vontade à cada novo obstáculo. Pai, mãe e irmã, obrigado por acreditarem em mim, amo vocês!

Aos professores Jorge Aikes Junior e Gloria Patricia Lopez Sepulveda.

Professor Jorge, além de mentor na disciplina de conclusão de curso, acolheu todos os problemas técnicos durante o ano, e foi essencial ao mostrar um caminho ímpar quando as coisas não iam bem.

Prof Gloria Patricia, orientadora que tanto me ensinou e principalmente, me acalmou perante a ansiedade que parecia não deixar o trabalho ser findado. Obrigado por ter acreditado que junto chegaríamos ao cume, não foi fácil e sabemos bem disso!

Aos meus amigos de universidade, com quem vivi os melhores anos da minha vida e que espero nunca perder o contato. Foram muitos amigos bons, mas especialmente Gabriela Anversi, Camila Cielo, Julia Kaefer Seyboth, Matheus Marchezan, Manuele Harnisch, Alvaro França, Francieli Martins, Giovani Biesdorf, Moabi Souza, Khetelin Moro, Wagner Silva, Bárbara Comin, Matheus Hamm e Thainá Harris, por toda paciência que tiveram comigo nos dias de tristeza, nos dias que o humor já não existia e pelas muitas vezes em que não me deixaram desistir deste projeto! Vocês são inspiração, não se afastem por favor!

Como frase, gostaria de deixar um pequeno trecho que marcou este trabalho:

”Foi uma estrada com muitos obstáculos. Mas fico por ter sido assim, porque se eu não tivesse sofrido tanto para chegar até ali, a lição poderia não ter sido tão nítida.”

Ted Mosby

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Padronização Wi-Fi	18
FIGURA 2	– Rede Ad-Hoc	20
FIGURA 3	– WiMax	21
FIGURA 4	– Tensão Senoidal como Modelo de Portadora	23
FIGURA 5	– Transmissão OFDM	25
FIGURA 6	– Tipos de Modulação	26
FIGURA 7	– Rede Mesh	28
FIGURA 8	– Tela OLSRD	35
FIGURA 9	– NanoStation e Antena 8dbi	37
FIGURA 10	– Topologia WiMesh	39
FIGURA 11	– Comunicação entre dois nós adjacentes	41
FIGURA 12	– Análise de Banda Utilizando Iperf	42
FIGURA 13	– Fluxo de Dados NetPerSec	43
FIGURA 14	– Fluxo de Dados e Perdas Iperf	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Resultados médios Redes Mesh	44
TABELA 2	– Resultados Médios WiMax	44
TABELA 3	– Análise de Custos WiMesh vs Wimax	45

LISTA DE SIGLAS

AES	Advanced Eryption Standard
AP	Access Point
ASK	Amplitude Shift Key
B.A.T.M.A.N.	Better Approach To Mobile Ad-Hoc
CCK	Complementary Code Keying
CDMA	Code Division Multiple Access Spread Spectrum
DFS	Dynamic Frequency Selection
DNS	Domain Name System
ECD	Equipamento de Comunicação de Dados
ETD	Equipamento Terminal de Dados
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FSK	Frequency Shift Keying
HLRB	Highest Link
ITU	International Telecommunication Union
MAN	Metropolitan Area Network
MIC	Message Integrity Check
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MPR	Multipoint Relay
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDM	Ortogonal Frequency Division Multiplexing
OLSR	Optimized Link State Routing
P2P	Peer-to-Peer
PBCC	Packet Binary Convolutional Code
PSK	Phase Shift Keying
SDN	Software Defined Networks
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TPC	Transmission Power Control
UWB	Ultra Wide
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoIP	Voice Over Internet Protocol
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVO GERAL	12
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	14
2.1	ENLACE SEM FIO	14
2.1.1	Componentes básicos de enlace sem fio	14
2.1.2	Tipos de Enlace sem fio	15
2.2	PROTOCOLOS WI-FI	16
2.3	REDES PESSOAIS, REDES LOCAIS, REDES METROPOLITANAS E REDES GLOBAIS	18
2.4	REDES AD-HOC	19
2.5	WIMAX	20
2.6	TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO SEM-FIO	22
2.6.1	Tensão Senoidal como Modelo de Portadora	22
2.6.2	Transmissão em Banda Base	23
2.6.3	Transmissão com Modulação	24
2.7	TÉCNICAS DE MODULAÇÃO	25
2.8	SPREAD SPECTRUM	27
2.9	REDES MESH	27
2.10	TRABALHOS CORRELATOS	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	ESTUDO DOS COMPONENTES NECESSÁRIOS	32
3.2	SIMULAÇÃO EM AMBIENTE ACADÊMICO	33
4	IMPLANTAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DA REDE	36
5	VIABILIDADE E CRONOGRAMA PRELIMINAR	38
5.1	VIABILIDADE	38
5.2	ESPECIFICAÇÃO DO ESPAÇO	38
5.3	ESPECIFICAÇÃO DA REDE	39
5.4	TESTES DE DESEMPENHO	40
5.5	COMPARAÇÃO ENTRE REDES MESH E WIMAX	44
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	46
6.1	CONCLUSÕES	46
6.2	TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a internet se tornou o meio mais eficaz e popular de comunicação, pois potencializa que pessoas separadas por milhares de Km possam conversar, trocar mensagens e até vídeos instantaneamente. Seguindo essa tônica, as Redes Sem-Fio, conhecidas popularmente como Redes Wi-Fi deixaram de ser um luxo e se tornaram comuns ao meio social urbano.

Ainda que tenha se tornadas comuns e utilizadas em grande escala, as Redes Wi-Fi tornaram-se segregadoras, pois as pessoas que não tem acesso ao produto, seja pelo alto custo ou por sua localização geográfica, ficam a margem de toda informação que a web carrega consigo e por tabela toda dinâmica de comunicação instantânea.

Uma pesquisa divulgada pelo IBGE no ano de 2015 com dados de 2013 determinou que 85,6 milhões de brasileiros, aproximadamente a metade da população, já possuíam acesso a internet em seus domicílios. Neste sentido, o estudo pretende avaliar e implantar uma nova tecnologia denominada Rede Mesh, que carrega consigo diversos custos de implantação, ou seja, se a demanda for um local de difícil acesso ou de pessoas de baixa renda, há como implementar redes de baixo custo.

As Redes Mesh são utilizadas em *Metropolitan Area Network*,(MAN) o que as lhe confere o poder de atingirem e podem também ser utilizadas por grandes corporações. Não importando quem se utilize, a Rede Mesh traz um custo inferior a tecnologia mais utilizada no momento, denominada WiMax. O *Worldwide Interoperability for Microwave Access* também conhecido como WiMax foi desenvolvido por empresas privadas em meados de 2003 e passou pela regulamentação da IEEE culminando na criação do padrão IEEE- 802.16.

O objetivo do WiMax, assim como o das Redes Mesh é fornecer internet à longas distâncias com alta taxa de transmissão. Estima-se que o alcance desta tecnologia seja de 50 quilômetros no máximo com uma transferência de até 75 Mbit/s.(Intel 2004)

Por se tratar de uma tecnologia de alto custo, é claro que o WiMax tem confiabilidade na transmissão dos dados e seus resultados são tão reconhecidos, que a maioria das grandes companhias do mundo utiliza-se deste serviço Wi-Fi (JARDIM, 2005).

As Redes Mesh sem fios podem conectar um conglomerado de cidades inteiras. As redes

comuns contam com uma pequena quantidade de pontos de acesso com fio ou hotspots sem fios para realização da conexão. Em uma Rede Mesh sem fio, a conexão da rede é espalhada entre centenas de pontos que se comunicam entre si para compartilhar a conexão da rede através desta grande área (AKYILDIZ; WANG, 2009).

Os pontos Mesh são pequenos radiotransmissores e funcionam de forma semelhante aos conhecidos roteadores wireless. Redes Mesh tem o poder de se autoconfigurar, sendo que seus nós realizam uma conexão *Ad-Hoc* entre si, gerando assim uma malha.

Os pontos tem como controlador um software que coordena as interações de cada um, bem como auxilia o caminho que as informações irão percorrer, ou seja, o referido software não apenas designa que a informação deve ir de um ponto A para um ponto B, como também escolhe automaticamente o caminho que traga maior velocidade e segurança.

Para que cada ponto possa transmitir e receber sinal de internet, ao menos um dos pontos necessita estar conectado fisicamente à uma conexão de rede, para que possa agir de forma semelhante a um *modem DSL*. Esse e/ou quaisquer mais pontos ligados compartilham a conexão sem fio com os outros pontos próximos não possuidores de rede, isso implica inferir que quanto mais pontos, mais a conexão se espalha, ou seja, pode atender desde um consultório médico até cidades com milhões de pessoas, o que torna as Redes Mesh adequáveis a diferentes cenários.

Toda essa conjuntura facilita que esse tipo de rede adentre à lugares de difícil acesso, pois uma base pode ser instalada inclusive em ambientes insalubres, piscinas ou alto de edifícios, sem qualquer tipo de restrição, propiciando que comunidades afastadas consigam receber acesso a web. Isto nos mostra uma heterogeneidade de cenários e por consequência perfis de tráfegos diferentes, o que exige flexibilidade, para que haja um envio de controle mais eficiente de acordo com o tamanho da rede, propiciando a melhor utilização desta, já que assim o desempenho pode atingir uma eficácia maior.(AKYILDIZ; WANG, 2009)

Ainda que o Brasil apresente-se como o primeiro país da América Latina e o quinto no mundo em números de usuários da Internet, esse patamar é alterado amplamente quando consideramos o percentual de população que usa redes.

Além disso, pode-se inferir que o serviço de telefonia fixa nem sempre está disponível nos lares brasileiros e quando está, tanto este, como o acesso a banda larga cabeado e até mesmo as redes de TV à cabo possuem um valor agregado alto para a grande maioria da população do país.O serviço de telefonia fixa.

É indubitável afirmar que se tratando deste cenário, acessar a Internet ainda é um privilégio que nem todos os brasileiros conseguem alcançar, o que via de regra tende a maximizar o problema da exclusão digital no país. Torna-se portanto necessário identificar a necessidade de novas soluções de acesso à Internet de baixo custo, principalmente no que

tange comunidades em áreas com pouco aporte de infra-estrutura, o que no caso representa, ausentes de comunicação cabeada.

Para abordar o impacto que uma Rede Mesh pode gerar para uma comunidade, é importante ressaltar que gera mais informação, potencializa uma diminuição nas diferenças culturais de comunidades como um todo, além do poder que a internet possui de comunicar e interligar pessoas.

Redes Wireless Mesh têm se tornado um novo estímulo econômico para economias desenvolvidas como da América do Norte, Europa e Leste Asiático. Sobretudo ao nível municipal, onde cidade após cidade anunciam grandes iniciativas em Wi-Fi. Por exemplo, a Rede Wireless Mesh da cidade de San Francisco atinge mais de 400 mil pessoas, ao mesmo tempo que nesses países inúmeras áreas rurais estão recebendo a tecnologia (ISHMAEL et al., 2008).

Entretanto, o impacto do Wi-Fi Mesh é ainda mais significativo em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, onde serviços de telecomunicação ainda são limitados.

Como o interesse em redes Wireless Mesh tem aumentado muito, investidores bem informados estão enxergando que existe uma nova oportunidade de negócio e não apenas limitada a prover serviço telefônico.

Implementando uma rede Wireless Mesh de custo baixo em diversos estados do país, as pessoas terão novas oportunidades de lazer e de negócios. Num futuro próximo, redes Wireless Mesh serão instaladas globalmente de forma crescente dado que é uma implementação robusta. Isto mudará inclusive o modo com que as pessoas fazem negócios, provendo as ferramentas para criar novas oportunidades e o potencial para incrementar formas de economias do terceiro mundo.

Redes Wireless Mesh estão provando que redes em larga escala e de alta confiabilidade podem ser implantadas para suportar grandes populações em grandes regiões e com ótimo custo-benefício, provendo até mesmo acessos *Voice over Internet Protocol* VoIP. Em Chittagong, Bangladesh, por exemplo, uma rede Wireless Mesh sustenta todo acesso VoIP e de internet da cidade.

Outro poder atribuído as de Redes Mesh, é potencializar a construção de cidades digitais, já que oferece infra-estrutura para comunicação sem fim em quaisquer ambientes(rural ou urbano) à todo tipo de cidadão.

1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo das Redes Mesh, também conhecidas como Redes Mistas, que foram definidas pelo padrão 802.11s se torna amplamente viável e necessário, ao passo que esta nova tecnologia concebe internet a grandes extensões, com sinal de qualidade e sobretudo, com os mais variados tipos de implantação. Toda essa asserção nos leva a conclusão de que este tipo de rede traz consigo um custo de implementação muito inferior a outras tecnologias sem fio, tais quais o popular Wimax(802.16), que será parâmetro para comparação, já que é o principal padrão sem fio quando tratamos de MAN.

Com isso é possível que pessoas de baixa renda tenham acesso à web, potencializando uma maior cobertura de internet, incluindo locais de difícil localização e/ou com poucos recursos; Uma vez que o estudo seja findado e validado, se torna possível a transmissão sem fio de internet para locais como os anteriormente citados, incluindo à estas pessoas não somente comunicação, como também cultura, entretenimento e a possibilidade de crescimento profissional.

1.2 OBJETIVO GERAL

Propor uma arquitetura para uma Área Metropolitana utilizando Redes Mesh que apresentem um custo de implantação inferior as tecnologias usualmente empregadas nos dias atuais.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o padrão 802.11s e todas suas variações de implementações;
- Construir uma rede sem fio mesh de baixo custo nas dependências da UTFPR-Câmpus Medianeira.

- Examinar o funcionamento e custos de implantação de uma rede com padrão 802.16(Wimax);
- Esquematizar os padrões para redes usualmente utilizados em redes sem fio sejam elas *Wireless Local Area Network (WLAN)*, *Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)* ou *Wireless Wide Area Network (WWAN)*.
- Debater as características e semelhanças entre as Redes Sem fio Mesh e WiMax;
- Estimar vantagens de custo na aplicação de uma Rede Sem Fio Mesh quando comparada à uma WiMax;
- Simular em ambiente acadêmico uma Rede Sem Fio Mesh;
- Examinar o hardware necessário para que a tecnologia seja aplicada de forma coesa.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esta seção destina-se a apresentação do estado da arte, bem como a fundamentação que originou as Redes Mesh, finalizando com a apresentação de trabalhos correlatos.

2.1 ENLACE SEM FIO

Um Enlace de Comunicação de Dados Sem-fio (ou sem fio) deve ser definido como um Sistema de Comunicação de Dados ponto-a-ponto (um-para-um, ou muitos-para-um, ou um-para-muitos), conhecido também como rádio-enlace, onde uma portadora eletromagnética que se propaga pela atmosfera realiza comunicação entre dois ou mais pontos, onde pelo menos um é o transmissor e o outro um receptor.

2.1.1 Componentes básicos de enlace sem fio

Segundo Subramanian et al. (2009), há cinco equipamentos considerados básicos para qualquer enlace sem fio, cada qual com suas funções e estruturas diferenciadas.

- **Equipamento Terminal de Dados:** O ETD é constituído por equipamentos onde há geração ou consumo de dados, ou seja, roteadores, computadores, *switchs* ou até mesmo um multiplexador;
- **Equipamento de Comunicação de Dados:** O ECD É um equipamento responsável por diferentes funções da comunicação entre dois pontos, pode cuidar tanto da transmissão, como recepção do sinal de rádio frequência, além de poder agir nas duas e neste caso receber os nomes de Transceptor ou Rádio Modem;

- **Antena de transmissão Antena de Recepção:**, como os próprios nomes já dizem, uma é responsável pela transmissão de sinal e a outra pela recepção;
- **Portadora eletromagnética:**. A portadora recebe os dados gerados pelo ETD local, através de um processo de modulação. Ao atingir o receptor a portadora recebe o processo inverso denominado demodulação que separa os dados da portadora recebida, devolvendo-os ao ETD;
- **Canal de Rádio Frequência.** Pode ser apresentado como uma porção do espectro de frequências eletromagnéticas, este canal é utilizado pela portadora para transportar dados. De acordo com a taxa de bits há uma largura de banda diretamente proporcional a taxa de bits.

2.1.2 Tipos de Enlace sem fio

Há três tipos de enlace sem fio, o primeiro e mais simples deles é denominado **Simplex** quando os dados trafegam em único sentido. Já quando há transmissão em ambos os sentidos com formas alternadas é chamado de **Semi Duplex ou Half Duplex**, por último, quando há transmissão e a recepção em ambos os sentidos tem-se um enlace **Duplex ou Full Duplex**.

Os três tipos de enlace podem ser ainda subdivididos em outras categorias:

Enlace dedicado e Enlace Partilhado: Um enlace é conhecido como dedicado, quando um usuário o utiliza de forma exclusiva. Um enlace é chamado partilhado quando vários usuários podem utiliza-lo ao mesmo tempo;

Enlace Determinístico (ou síncrono) e Enlace Estatístico (ou assíncrono): O enlace síncrono é capaz de transmitir somente um fluxo de bits constante, seguindo uma determinada taxa, já o enlace assíncrono é aquele que só pode transmitir quando um pacote ou quadro de dados estiver presente;

Características dos Enlaces Sem-fio

Um enlace sem-fio apresenta vantagem e desvantagens em relação aos enlaces wired.

Vantagens

- Tem o poder de fornecer mobilidade aos usuários;
- Possibilitar acesso em locais com pouca ou até mesmo ausência de infra-estrutura de telecomunicações fixa;

- Viabilizar a ubiquidade da informação, ou seja; disponibilizar informação onde e quando o usuário necessitar;
- Internet móvel.

Desvantagens

- Efeitos das radiações eletromagnéticas de alta frequência (micro-ondas) sobre o organismo humano.
- Custos elevados dos equipamentos;
- Taxas de transmissão ainda relativamente baixas;
- Interoperabilidade com sistemas fixos tradicionais;
- Problemas de fornecimento de energia (baterias e consumo) dos dispositivos móveis;
- Susceptibilidade a interferência e ruído (taxa de erro elevada);
- Alocação de bandas de frequência.

São notórias as características particulares dos enlaces sem fio e que obviamente essas desvantagens são dificuldades iminentes na implantação e posterior uso da rede.

2.2 PROTOCOLOS WI-FI

Foram definidos com o intuito de popularizar, além de manter seguras as redes sem-fio. Cada norma possuiu um grupo de estudo diferente. Findada a pesquisa, a IEEE depois de minuciosos testes decretava a existência de uma nova norma (JARDIM, 2005).

Padrões Wireless IEEE

- IEEE 802.11b (1999) [IEE99b]. Oferece taxas de 5,5 e 11 Mbit/s, transmitindo na banda de 2,4 GHz. Para atingir taxas de banda tão distintas criou-se o primeiro método de modulação, conhecido como *Complementary Code Keying* (CCK).
- IEEE 802.11a (1999) [IEE99a]. Uma nova especificação de meio físico que atingiu 5 GHz. A maior importância deste protocolo passa pela criação paralela do processo de transmissão *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) em taxas de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, e 54 Mbit/s.
- IEEE 802.11g (2003) [IEE03]. Introduce um novo esquema de transmissão de 22 e 33 Mbit/s e 54 Mbit/s, na faixa de 2,4 GHz utilizando o *Packet Binary Convolutional Code*

(PBCC) e OFDM.

- IEEE 802.11e (2005). Padrão que incorporou a qualidade de serviço para celulares.
- IEEE 802.11F (2003). Propõe novos esquemas de interoperabilidade entre *Access Point*(AP) e Sistemas de Distribuição que utilizem diferentes fornecedores, ou seja algo parecido com o que se conhece como *roaming* de celulares.
- IEEE 802.11h.(2003). Esta norma trouxe esquemas que potencializaram as redes wireless de alto desempenho, pois trazem consigo as definições de *Dynamic Frequency Selection* (DFS) e *Transmission Power Control* (TPC), sendo que a primeira é responsável por realizar uma seleção de frequência dinâmica, enquanto a segunda controla a potência de transmissão da rede.
- IEEE 802.11i.(2004). Norma focada em segurança para redes wi-fi, sua base foi o *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP), que veio com intuito de oferecer inúmeros esquemas de autenticação mútua. Além do TKIP, a norma traz consigo outros conceitos de segurança como chave dinâmica, integridade de mensagens, conhecido como *Message Integrity Check* (MIC) e um padrão de encriptação avançado *Advanced Encryption Standard* (AES).
- IEEE 802.11n(2009) O desenvolvimento da especificação 802.11n se iniciou em 2004 e foi finalizado em setembro de 2009.

O 802.11n tem como principal característica o uso de um esquema chamado *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), capaz de aumentar consideravelmente as taxas em que os dados são transferidos. Sendo assim, se torna possível usar quantos emissores e receptores necessários para o bom funcionamento da rede.

Quanto a frequência, a norma 802.11n trabalha não somente com a faixa 2,4Ghz como 5 Ghz, o que a torna compatível com todos os padrões anteriores, até mesmo o 802.11a. Alguns estudos apontam que sua área de cobertura pode passar de 400 metros.

Além destas normas há grupos trabalhando em constantes melhorias tanto no alcance, como manutenção, segurança e vazão por exemplo. Esses grupos recebem aporte de uma instituição conhecida como Wi-Fi Alliance, mantida pelos fornecedores de equipamentos wireless. Agregado à isso, a associação também define um padrão mínimo de características que deverão ser oferecidas pelos equipamentos para que a interoperabilidade entre eles seja mantida. Nesses últimos anos, a IEEE tem se empenhado em atividades para outras arquiteturas de redes, em geral WWAN e WMAN. Para este Trabalho de Conclusão de Curso, dar-se-a foco principal a arquitetura WMAN.

Destacam-se 3 Tecnologias Wireless com abrangências distintas: a) Redes Pessoais: *Wireless Personal Area Network* (WPAN (IEEE 802.15), b) Redes Locais: *Wireless Local*

Area Network (WLAN) (IEEE 802.11) e, c) *Redes Metropolitanas: Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN) (IEEE 802.16).

2.3 REDES PESSOAIS, REDES LOCAIS, REDES METROPOLITANAS E REDES GLOBAIS

Ao analisar a ilustração da Figura 1 é possível notar as diferentes camadas de comunicação Wireless, cada qual relacionada a um alcance distinto, que vão desde redes que não alcançam uma casa por completo, até redes de alcance mundial.

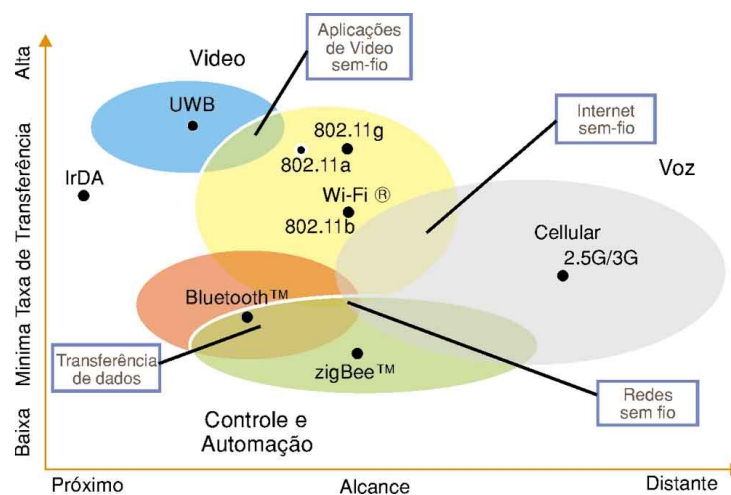


Figura 1 – Comparação Padrões Wi-Fi

Fonte: (CONCEIÇÃO, 2012)

WPAN: É comumente associada a Bluetooth, Infravermelho. Utilizada para interação entre dispositivos móveis de um usuário. Foi projetada para pequenas distâncias e possui baixo custo, além das baixas taxas de transferência.

WLAN: É uma rede local que usa ondas de rádio para fazer comunicação entre dispositivos de uma residência ou pequena empresa. WLAN já tem sua importância consolidada em muitas áreas de negócio, sendo consideradas comuns no ambiente social e não presentes em aeroportos e universidades como anteriormente. Os componentes de WLAN tiveram seu custo tão reduzido que hoje em dia seus recursos podem ser utilizados em conexões de Internet para famílias inteiras. Um problema inerente as WLANs se dá pois o mesmo crescimento acentuado gerou interferências entre as mesmas e até mesmo interferências com telefones sem fio.

WMAN: É um dos assuntos mais importantes deste estudo. São redes de uso corporativo que atravessam cidades inteiras com qualidade e confiabilidade de sinal. Atualmente os provedores que oferecem esse acesso utilizam na sua grande maioria a norma 802.16(WiMax). As Redes Mesh vem para atender o nicho das WMANs e trazer a mesma qualidade do WiMax, todavia com custos mais acessíveis potencializando a inserção de web à lugares remotos, como também para todo mercado.

WWAN: De forma sucinta, uma rede WMAN é o que conhecemos como tecnologia dos Telefones Celulares de voz, ou seja esse tipo de rede sem fio é utilizado em distâncias altas e normalmente controlado por satélite.

2.4 REDES AD-HOC

Outro tipo de rede sem fio móvel é o *Infrastructureless Mobile Network* , comumente conhecido como uma rede Ad-Hoc. Redes dessa natureza não possuem roteadores fixos, além de que todos os nós podem se movimentar e serem ligados de forma dinâmica e arbitrária. Cada nó dessa rede tem uma função peculiar de descobrir e manter rotas para outros nós da rede, o que as torna ideais para emergência de busca e salvamento de operações, convenções em que as pessoas desejem compartilhar informações rapidamente. (KUMAR; SENGUPTA, 2010). Redes Ad-Hoc são adequadas para situações em que não há uma grande infra-estrutura e/ou não é rentável a implantação de algo mais complexo; Até por isso, tem se tornado cada vez mais populares e difundidas no meio social(CHATURVEDI et al., 2013).

É notável que na atualidade, as pessoas possuem vários dispositivos portáteis, tais como laptops, smartpone, PDAs e players de música, entre outros, tanto no âmbito profissional, como privado; neste contexto, pode-se perceber que uma grande porcentagem destas pessoas veem estes dispositivos sendo usados separadamente, isto é, suas aplicações não interagem. No entanto, se eles pudessem interagir diretamente, os participantes em uma reunião poderiam compartilhar documentos ou apresentações; cartões de visita seriam capazes de encontrar automaticamente o seu caminho para o endereço desejado; passageiros poderiam sair de um trem, e ainda assim seus laptops permaneceriam on-line; e-mails recebidos agora poderiam ser desviados para seus PDAs; finalmente, como eles entram no escritório, toda a comunicação poderia ser automaticamente encaminhados através do wireless campus de rede corporativa.

Estes exemplos de Ad-Hoc de comunicação sem fio entre os dispositivos pode ser

definida vagamente como um esquema, muitas vezes referido como rede Ad-Hoc, o que permite que os dispositivos possam estabelecer comunicação a qualquer hora e em qualquer lugar sem ajuda de uma infra-estrutura central, assim como ilustrado na Figura 2

Na realidade, rede Ad-Hoc, como tal, não é nova, mas a configuração e o tipo de uso, são inteiramente distintos, já que no passado o uso de redes Ad-Hoc foi muitas vezes associado a comunicação sobre campos de combate e áreas de desastre.

Agora, com novas tecnologias, como Bluetooth, o cenário de anúncio networking ad hoc está em momento de inúmeras mudanças.



Figura 2 – Rede Ad-Hoc
Fonte: (KOTVISKI, 2009)

2.5 WIMAX

WiMax foi adotado como nome popular ao padrão IEEE 802.16, destinado à WMANs. Esta norma teve seus estudos motivados com objetivo inicial de disponibilizar acesso de alta velocidade para grandes áreas metropolitanas, sem a necessidade de investimento extra em infra-estruturas de alto custo em relação as redes cabeadas e sem as limitações comuns as tecnologias DSL, assim como ilustrado na Figura 3. O WiMax é tão importante para grandes corporações que a Intel, uma das patrocinadoras principais do Fórum WiMax, afirma categoricamente como: “A coisa mais importante desde o advento da própria Internet”.



Figura 3 – WiMax

Fonte: (GRABIANOWSKI; BRAIN, 2002)

O padrão IEEE 802.16 é definido como um padrão global por ter sido desenvolvido em conformidade com a *International Telecommunication Union* (ITU) e do *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI).

Ainda que para uma grande corporação ele seja uma solução de Internet segura e com custo mais acessível, ao comparar os custos com uma Rede Mesh é considerado um custo alto, e por isso não se torna interessante levar uma rede WiMax a determinadas comunidades de usuários, que por vezes não são conhecedores dos benefícios da web. (IEEE, 2005).

O 802.16 possui uma tecnologia que em teoria pode alcançar de 50km e até 70 Mbps (??) . Na prática isso depende da frequência utilizada, da ausência de interrupções e claro, se as antenas de comunicação estão visíveis as outras, o que na prática se torna quase que inaplicável em um ambiente cotidiano (FAGUNDES, 2006) .

O estudo do WiMax foi iniciado em meados de 2001 e contou com várias empresas como Intel e Nokia. O WiMax possui uma variada quantidade de frequências (de 2 a 66 GHz), o que permite inferir que esta norma atende diferentes tipos de projetos WMAN (JARDIM, 2005).

De acordo com o estudo feito por Afzali et al. (2010), é possível afirmar que o WiMax, ainda que possua um custo superior à uma Rede WiMesh, ainda traz consigo um valor inferior

à várias redes Wi-Fi que estejam dentro de seu raio de ação, o que permite afirmar que o Wi-Fi comum quando não substituído por um WiMesh devido a quantidade de informações processadas pela rede, pode ser substituído por uma Rede WiMax.

A pesquisa realizada por Cicconetti et al. (2007) afirma que redes Mesh e WiMax podem ser incorporadas juntas. Fica claro que a topologia como um todo sofreria adaptações, mas o estudo já aponta para a possibilidade da realização e todos os ajustes necessários.

2.6 TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO SEM-FIO

Tanto a transmissão como a recepção são essenciais para a completude de um sistema Wi-Fi. Neste sentido, a presente seção busca apresentar um panorama das diferentes técnicas de transmissão e recepção sem fio .

2.6.1 Tensão Senoidal como Modelo de Portadora

A forma mais simples de se visualizar a origem da função senoidal de tensão é supor um vetor de módulo V_p , girando em sentido anti-horário com uma velocidade angular ω . Em qualquer instante, a projeção desse vetor sobre o eixo vertical dos senos corresponde ao valor da função $e(t)$ neste instante. Neste caso, a função pode ser representada através de um gráfico do tipo $e(t) \times \omega t$.

Os principais parâmetros de uma função senoidal de tensão, as unidades de medida de cada um, assim como algumas relações simples entre estes parâmetros são:

$e(t)$: função senoidal de tensão, seu valor é dado em volts[V];

ω : velocidade angular, apresentado em radianos por segundo[rad/s];

T: período, sua unidade de medida é segundos[s];

f: frequência é o oposto do período e é medida em Hertz[Hz];

ϕ : ângulo da fase inicial expresso em graus;

V_p : tensão de pico, em volts[V].

$$e(t) = V_p \sin(\omega t + \phi)$$

Na Figura 4, apresentar-se-a um gráfico $e(t)$ por t , para um melhor entendimento da função:

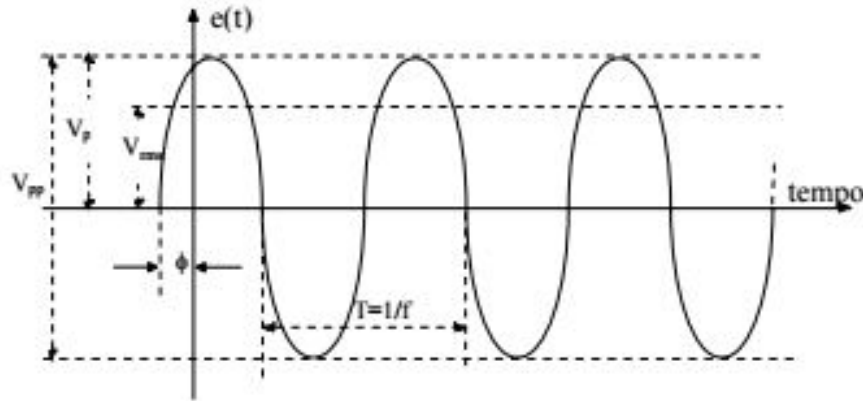


Figura 4 – Tensão Senoidal como Modelo de Portadora

Fonte: (JARDIM, 2005)

Ao utilizar a tensão senoidal como portadora de informação, há a possibilidade de propagação através de inúmeros meios tais como onda eletromagnética, par de fios. A informação $I(t)$ pode ser associada com qualquer parâmetro da tensão senoidal, seja ele amplitude, frequência ou fase.

Quando há associação de $I(t)$ à amplitude, tem-se uma modulação de frequência, já quando associa-se $I(t)$ à fase, denomina-se uma modulação de fase. Há inclusive algumas técnicas mais modernas, onde ocorre modulação mista, nas quais a informação é associada a mais de um parâmetro.

Existem técnicas mais complexas de transmissão e espalhamento que são utilizadas em larga escala quando tratam-se de grandes redes WMAN. Há três destas amplamente utilizadas, sobretudo quando se trata de redes de grande porte: a) *Code Division Multiple Access Spread Spectrum* (CDMA), b) (OFDM), c) *Ultra Wide Band* (UWB) – impulsos de curta duração e espectro ultra largo pB, falamos em modulação de amplitude, quando associa-se $I(t)$ a ω . Para falar sobre estas técnicas é necessário conhecer o conceito de *transmissão em banda base*.

2.6.2 Transmissão em Banda Base

Qualquer sistema que tem o poder de transmitir símbolos elétricos em forma base, o que quer dizer sem transladação de eixo de simetria, ou seja, correspondente à frequência zero ($f = 0$), é denominado sistema de banda base. Sua principal função é codificar e decodificar o sinal de dados, o que permite a criação de um novo sinal, que por consequência é mais adequado para a transmissão pela linha física.

Quando falamos de modulação, há deslocamento do espectro para um novo eixo de simetria f_c , que corresponde à frequência da portadora utilizada. Pode-se, portanto, transmitir a informação $I(t)$ seguindo duas maneiras: enviando pulsos elétricos associados aos dígitos binários da informação diretamente através de um meio físico (o que pode ser uma fibra óptica ou um cabo coaxial por exemplo) e assim apresenta-se a banda base. Quando há envio de pulsos elétricos e realização de um processo de codificação sobre uma portadora, pode-se afirmar que o caso é de um processo de modulação.

É claro que a transmissão em banda base é mais simples e econômica, portanto, é utilizada sempre que trata-se de um meio físico inteiramente a disposição para uma determinada aplicação, definida logicamente através de multiplexação em frequência dentro de uma banda do espectro eletromagnético, são mais adequados para transmissão segundo uma portadora definida no centro deste canal.

2.6.3 Transmissão com Modulação

Transmissão OFDM: Ao contrário da transmissão em banda base que opera em uma única banda e envia sinais de forma sequencial, a técnica OFDM consiste na transmissão paralela de várias subportadoras e taxas de transferência inversamente proporcionais ao número de subportadoras, ou seja quanto mais subportadoras, menor a taxa de transferência de cada uma. Esta conjuntura é favorável à redução de dispersão no tempo em sinais (PINTO; ALBUQUERQUE, 2002).

A Figura 5 traz um exemplo de uma Transmissão com Modulação OFDM e como esta altera bruscamente cada uma de suas subportadoras, tanto no período, como na frequência. A transmissão OFDM será base na aplicação do presente estudo, pela simplicidade e usabilidade demonstradas quando aplicadas em Redes Mesh (KIM et al., 2008).

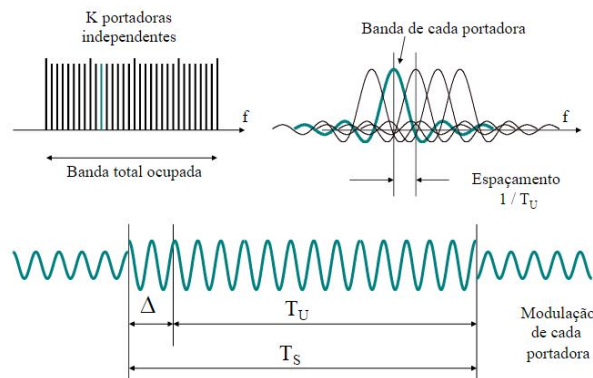


Figura 5 – Transmissão OFDM

Fonte: (STOLFI, 2008)

Transmissão CDMA: Já o CDMA é um sistema baseado em uma faixa larga, ao qual todos os usuários podem compartilhar entre si um mesmo canal na frequência e no tempo. Para a codificação do sinal, são utilizadas sequências de bits; Tendo o receptor conhecimento do código, logo decodifica o sinal recebido e recupera os dados originais; A banda do sinal de código é muito maior do que a banda ocupada pelo sinal de informação. Sendo assim, o processo de codificação aumenta a banda ocupada do sinal, num processo conhecido como espalhamento espectral (FEHER., 2012);

Transmissão UWB: o transmissor UWB envia inúmeros pulsos curtos, ou seja, de baixa largura, espalhados num espectro da ordem alta, o que envolve desde frequências baixas, até frequências muito altas. Cada bit carrega consigo uma informação que é geralmente espalhada em vários mono-ciclos, culminando que a energia seja espalhada por todo espectro. O mais interessante nesse tipo de transmissão é que o alcance do sinal pode atingir alguns quilômetros com potências na casa dos miliwatts (HAYKIN; MOHER, 2008).

2.7 TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Sinais digitais são sequências de pulsos retangulares representando 0s e 1s. De acordo com as características de cada canal, há formas para combinar bits formando símbolos, o que efetivamente aumenta a eficiência espectral da modulação. Todavia, se os sinais não fossem filtrados, ao menos na teoria, o espectro da frequência seria infinito, o que claramente não é possível, pois exigiria uma largura de banda infinita. A filtragem se torna então a responsável

por limitar a largura de banda necessária, e sua escolha tem impacto direto no aperfeiçoamento do desempenho da cadeia que realiza a transmissão global. A limitação da largura de banda de um sinal tem como resultado um aumento teoricamente infinito da sua resposta temporal, que, se não utilizadas precauções especiais, pode gerar sobreposições entre os símbolos sucessivos, à isto atribuí-se o nome de interferência inter símbolo (ISI).

Para Benoit (2008), há três tipos de modulação populares, cada uma com a ideia de modificar o nível de alguma propriedade da onda, podendo ser esta a amplitude, a fase ou até mesmo a frequência.

Na Figura 6, cada uma destas que serão posteriormente denominadas e explicadas podem ser comparadas a Transmissão em Banda Base.

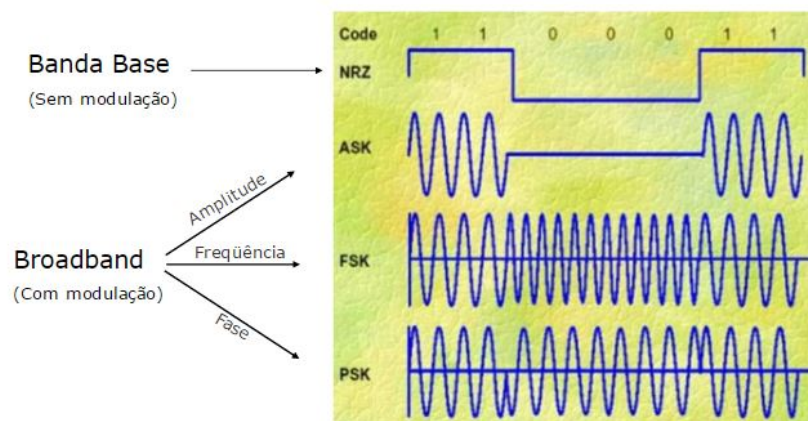


Figura 6 – Tipos de Modulação

Fonte: (CONCEIÇÃO, 2012)

Modulação ASK: A modulação *Amplitude Shift Keying* (ASK) é focada na modificação do nível de amplitude da onda portadora à partir do sinal digital dado como entrada e que passará a ser transmitido.

O sinal modulante assume um dos dois níveis discretos da fonte de informação (nível lógico 0 ou 1). As principais características dessa modulação são: pequena largura de faixa, baixa imunidade a ruídos e facilidade de modulação e de demodulação. Por possuir essas características ela é indicada nas situações com pouca existência de ruído (já que ausência é tecnicamente impossível), ou ainda quando o custo baixo é uma prioridade na infraestrutura;

Modulação PSK: A modulação *Phase Shift Keying* (PSK) tem como variação a fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. Quando o sinal digital recebe uma mudança, ocorre uma mudança na fase da onda portadora. Essa modulação aumenta razoavelmente a velocidade de transmissão da rede, como também uma alta imunidade à ruídos;

Modulação FSK: A modulação *Frequency Shift Keying* (FSK), assim como as

anteriores, tem um valor alterado em função do sinal digital, especificamente, nesse caso trata-se da frequência.

A amplitude da onda portadora é constante durante o processo de modulação e a onda resultante varia a sua frequência conforme os níveis lógicos do sinal modulante. A principal característica dessa modulação é a boa imunidade à ruídos, sobretudo com grandes larguras de banda.

2.8 SPREAD SPECTRUM

Um sinal de *Spread Spectrum* ou Espalhamento Espectral é um sinal com modulação extra que expande a largura de banda ao ponto de ser acima do exigido pelos dados subjacentes. Há também, os sistemas de comunicação do *Spread Spectrum* responsáveis por suprimir a interferência, otimizando os problemas de desvanecimento, além de fornecer a poderosa capacidade do acesso múltiplo. Originalmente criada em redes militares como um meio de garantir a comunicação com segurança quando confrontado com as ameaças de empastelamento e de interceptação, os sistemas de espalhamento espectral são agora o núcleo de aplicações comerciais, tais como a comunicação celular e móvel por satélite. Quem olha sem cuidado, imagina que um sinal de espalhamento espectral é uma ideia ruim, pois para receber o filtro há a requisição de uma grande largura de banda, o que acarretará mais ruídos sendo passados ao demodulador.

No entanto, quando qualquer sinal de ruído branco gaussiano é aplicado a um filtro adaptado para o sinal, o filtro de saída amostrado tem uma relação sinal-para-ruído (SNR) que é inversamente proporcional à densidade espectral de potência de ruído. O aspecto notável deste resultado é que a largura de banda do filtro e, por conseguinte, a potência de ruído de saída são irrelevantes. Assim, observa-se que não há nenhuma barreira fundamental para a utilização de comunicações de espalhamento espectral (TORRIERI, 2015).

2.9 REDES MESH

Uma rede em malha sem fio é uma rede sem fio de múltiplos saltos em que cada nó é capaz de se comunicar com todos os demais nós da rede, seja diretamente (com seus vizinhos) ou através do encaminhamento por nós intermediários. As Redes Mesh tem sido reiteradamente apontadas como a solução tecnológica de melhor custo benefício para a construção de uma plataforma de comunicação altamente escalável e capaz de promover conectividade a um custo relativamente baixo (AKYILDIZ; WANG, 2009).

A Figura 7, traz um modelo visual para aplicação de uma Rede Mesh, dando foco sobretudo na sua topologia, onde os nós podem se comunicar com os outros nós, sem que haja necessidade de roteadores. A figura mostra ainda que ao menos um desses roteadores deve estar ligado à Internet, para ser o elo de propagação para os demais

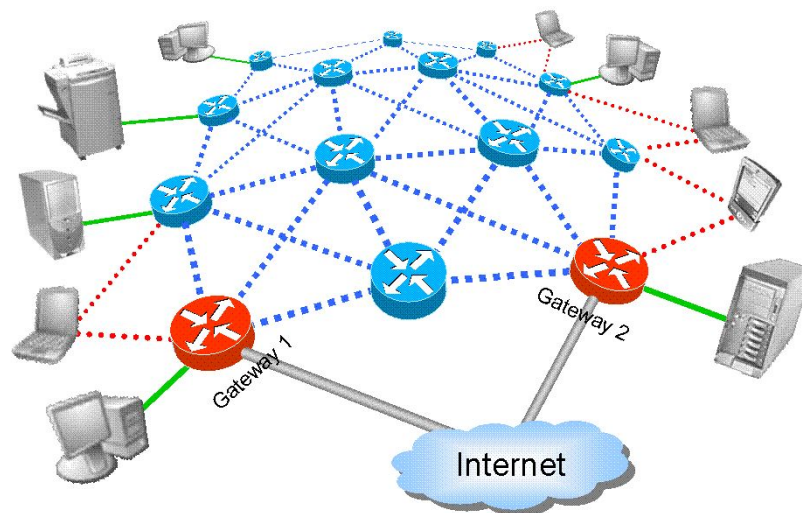


Figura 7 – Rede Mesh

Fonte: (GHELI, 2012)

Sua utilização traz benefícios potenciais como alta capacidade de comunicação, elevada disponibilidade e tolerância a falhas, além de propiciar uma rápida implantação de serviços de rede (SAKAMOTO et al., 2014). O roteamento nas Redes Mesh é uma área de pesquisa bastante ativa, com trabalhos investigando diferentes estratégias de escolha e manutenção de caminhos na rede mesh. Em particular, um requisito importante dessas estratégias é o suporte a mobilidade dos nós, de forma que um nó móvel, ao movimentar-se, deve ter sua rota de acesso alterada (refletindo sua nova localização) sem interrupção de conectividade (DELY et al., 2011).

O roteamento e encaminhamento em redes mesh sem fio é similar, de certa forma, ao roteamento em redes cabeadas. No entanto, alguns aspectos inerentes ao canal sem fio como, por exemplo, a atenuação, interferência, contenção, aliadas a características como mobilidade e capacidade de transmissão limitada dos nós, levam a uma alta dinamicidade da rede, que deve ser tratada pela estratégia de roteamento adotada. Tal estratégia deve ser, portanto, otimizada a fim de diminuir o tráfego de controle e reagir rapidamente à mudanças nos enlaces sem fio.

As estratégias de roteamento em redes mesh são classificadas geralmente em três categorias: protocolos pró-ativos, reativos e híbridos. Nos protocolos pró-ativos, computa-se as rotas para todos os nós durante a fase de inicialização do protocolo. Já nos protocolos reativos, as rotas são calculadas na medida em que são requisitadas pelas aplicações.

Os protocolos reativos possuem a vantagem de não ocupar desnecessariamente a rede com tráfego de controle, ao passo que os protocolos pró-ativos geralmente apresentam menor atraso no estabelecimento de novos fluxos na rede, uma vez que os caminhos já estão definidos.

Os protocolos híbridos tentam combinar as vantagens dos protocolos reativos e pró-ativos e adaptar seu funcionamento a diferentes cenários. Mais recentemente, uma quarta categoria passou a ser usada nesse contexto: as redes mesh definidas por software. Essa é uma área de pesquisa promissora pois combina as características de robustez e escalabilidade das redes mesh com a programabilidade e controle centralizado do *Software Defined Networks* (SDN). Um ponto que merece especial atenção na escolha da estratégia de roteamento é o suporte a mobilidade transparente entre os nós, onde aplicações de tempo real não tem sua conectividade afetada em face a movimentação de um nó. Nesse sentido, dois requisitos são de importância destacável: mudança de ponto de acesso (processo também conhecido como handoff) sem interrupção de conectividade e propagação da atualização de rotas depois do handoff (AKYILDIZ; WANG, 2009). Há três tipos de roteamento usualmente empregados em Redes Mesh:

OLSR: O protocolo *Optimized Link State Routing*(OLSR) Este protocolo de roteamento utiliza mensagens periódicas, denominadas *HELLO*, que potencializam a descoberta de vizinhos e sinalização de seleção dos multipontos. Além disso, utiliza também mensagens de controle de topologia para troca de informações entre nós. Desta forma, todos os nós conhecem a topologia, podendo assim localizar as rotas para os demais nós (OUACHA et al., 2013).

B.A.T.M.A.N.: No protocolo *Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking* (B.A.T.M.A.N.) os nós não tem ciência sobre toda a topologia da rede. Ao invés disso, conhecem somente o vizinho com melhor rota para um destino determinado. Além disso, seu algoritmo de seleção de rotas tem como base que os melhores enlaces tem maiores possibilidades de entrega de mensagens de forma rápida e confiável. Com isso, a seleção de

rotas se dá de forma natural, não havendo necessidade alguma de cálculo baseado na topologia de cada nó. A principal diferença entre o OLSR e o B.A.T.M.A.N se dá pelo fato de que o primeiro conhece cada um dos nós da topologia e o segundo conhece exclusivamente os melhores vizinhos para cada referido nó, subseqüentemente até que se encontre o melhor caminho. (BRITTON; COYLE, 2011).

Open WiMesh: Já o Open WiMesh implementa o roteamento em uma rede mesh com uma abordagem centralizada, seguindo um conceito denominado SDN, que tem por ideia que o software seja o centro de controle da rede. Desta forma, o SDN implementado no WiMesh encontra grafos que modelem a rede, para posteriormente, através dos próprios grafos a melhor rota de transmissão seja encontrada. Ainda que não seja regra, há três modelos de rotas base comumente utilizados pelo Open WiMesh; Um considera a menor quantidade de saltos, chamado de *Hop-Count* (HC), um segundo que opta pela menor banda residual, denominado *Highest Link Residual Bandwidth* (HLRB), por fim, há uma terceira estratégia pré-estabelecida que combina as duas primeiras, ao qual é atribuída o nome de *Highest Link Residual Bandwidth in Same Hop Count* (HLRB) (DETTI et al., 2013).

Redes Mesh Sem fio são uma forma promissora para fornecer acesso à Internet para dispositivos sem fio fixos e móveis. Dentro das redes mesh, o tráfego entre os nós da malha e da Internet é encaminhado através gateways de malha. No caminho para a frente, isto é, a partir de malha de nós para a Internet, todos os nós da malha única rota recebem informações para um destino, os gateways precisam ser mantidos. No entanto, no caminho para trás, a partir da Internet para malha de nós, uma linha específica para cada nó mesh é necessária.

As restrições de tecnologia sem fio tradicional podem ser parcialmente resolvidas por tecnologias de rede mesh sem fio. Por exemplo, em comparação com WLANs que exigem que todos os *APs* sejam ligados a um *backbone* com fio subjacentes. Os roteadores mesh (MRS) servem como pontos de acesso para clientes mesh, que podem ser tablets, desktops, celulares, laptops...Cada nó opera tanto como um host e um roteador, encaminhando informações em nome dos outros nós que podem não estar dentro do alcance de transmissão sem fios direta dos seus destinos, além de poderem servir como gateways e possibilitarem pontes para integrar uma Wifi Mesh com outras redes, tais como a à Internet ou 3G / 4G redes celulares. No entanto, como um subconjunto da MRS em um Wifi Mesh é comumente usado para se conectar à Internet, as MRS que facilitam essa ligação são muitas vezes chamadas de gateways da Internet (IGWs). Os dados são encaminhados para um MR, que, em seguida, encaminha os dados para outro MR dentro de sua faixa de transmissão e assim por diante, até que os dados, eventualmente, atinjam o seu destino.

WiFi Meshs são capazes de funcionar sem a exigência de que cada ponto de acesso

seja ligado diretamente para a rede com fios, eliminando assim a necessidade de uma extensa cablagem (BRUNO et al., 2005).

Diferentes cenários de interconexão entre redes com e sem fio demonstram diferentes níveis de problemas de mobilidade e endereçamento. Em uma rede IP, os nós possuem um endereçamento estruturado de forma hierárquica. Cada endereço IP é utilizado para identificar os nós e suportar o roteamento hierárquico. Em redes mesh, nós móveis conectam-se a redes IP através de gateways, que fazem a ligação entre as sub-redes sem e com fio.

No que tange segurança em Redes Mesh, não há como iniciar sem debater a diferença deste conceito com o de confidencialidade, ainda que sejam totalmente dependentes neste caso. Para que uma Rede Mesh trabalhe de forma coerente é necessário que as relações de confiança estejam implantadas; É impreterível afirmar que por esse motivo, a rede se torna mais suscetível a ataques e nesse caso menos segura que outras. Para sanar essa dificuldade, fora implantado o gerenciamento de segurança, onde por exemplo, a configuração dos nós se dá com chaves criptografadas; Existem três tipos de gerenciamento de chaves que podem ser aplicados em redes mesh: autenticação via certificado, árvores de certificação e a combinação de ambos. (AGUIAR¹ et al.,)

2.10 TRABALHOS CORRELATOS

O estudo de Redes Mesh tem sido cada vez mais difundido e realizado por todo mundo desde meados de 2004, o primeiro grande estudo fora realizado por ??), que deu origem em 2009 ao livro Akyildiz e Wang (2009) onde descrevem através o funcionamento esperado para uma Rede Mesh, seus padrões, topologia, possíveis protocolos utilizados e também dificuldades de implantação. Esses dois trabalhos doutrinaram os estudos em Redes Mesh ao redor do mundo.

Já no Brasil, as pesquisas logo foram iniciadas, culminando com o trabalho ReMesh-UFF-RNP (2006) que comenta a implantação de uma Rede Mesh na Universidade Federal Fluminense câmpus Niterói que fora testada por alunos que residiam nos entornos da referida instituição, propiciando um melhor estudo sobre a tecnologia, bem como um grupo massivo para teste. O trabalho é especialmente interessante por apresentar dificuldades presentes na implantação da rede, que fora de grande valia para novas implementações. Depois de 3 anos de testes, o trabalho Passos et al. (2009) foi publicado em anais e também houve a criação de um

livro sobre o assunto.

O trabalho de Avallone e Stasi (2014a) apresentou uma nova visão de implantação de Redes Mesh, modernizando e criando novos tipos de aplicações até outrora somente pesquisados, porém até então nunca aplicados, como por exemplo VoIP ou até mesmo uma vídeo-conferência. Essa pesquisa, foi melhorada e aplicada no trabalho de Avallone e Stasi (2014b) que apresenta uma métrica implantada para rádios de comunicação e VoIP através de uma mesma Rede Mesh.

As mais recentes buscas na área estão em aprofundamentos sobre a proposta de Luo et al. (2014), onde se apresenta um novo conceito de Redes Mesh, denominado Redes Mesh Verdes, ou seja, que funcionam com energia 100% sustentável, como por exemplo Energia Solar, ou até mesmo Energia Eólica. Quase que a totalidade dos equipamentos para essa rede ainda está em processo de desenvolvimento, o que permite imaginar que por volta de 10 anos as redes Wi-Fi como conhecemos, provavelmente serão substituídas por essa tecnologia.

3 METODOLOGIA

O presente capítulo tem por objetivo trazer a tona quais as metas do projeto, bem como delimitar cada passo na concepção, além das métricas utilizadas.

A aplicação do trabalho se dará em quatro importantes etapas:

1. Estudo dos componentes necessários para concepção da rede.
2. Simulação em ambiente acadêmico.
3. Implantação e configuração da rede.
4. Comparação entre WiFi Mesh e WiMax
5. Auxiliar a comunidade na criação de antenas de baixo custo.

3.1 ESTUDO DOS COMPONENTES NECESSÁRIOS

Antes de iniciar a concepção prática da rede, faz-se necessário um estudo aprofundado sobre cada um dos componentes que compõe uma Rede Mesh (NAKANO et al., 2001).

Análise de Equipamentos:

Para a montagem de cada nó da rede, pronto para ser instalado em ambientes externos, utilizar-se-á os seguintes componentes: caixa hermética, base e haste de ferro galvanizado, antena omni-direcional de 18,5 dBi de ganho ou alternativamente antena direcional de 24 dBi de ganho, dependendo da localização do roteador, cabo RGC 213 de 1m, conectores RP-TNC para ligação do cabo com a saída RF do roteador, conectores N-macho para ligação do cabo com a antena omni-direcional e N-fêmea para ligação com a antena direcional, suporte metálico para fixar a caixa com o roteador na haste, módulo POE (Power Over Ethernet), que evita a passagem de outro cabo de alimentação para o roteador, cabo de rede UTP, de preferência com capa protetora, para ligação do roteador ao cliente, se o acesso do cliente for cabeado.

Além do roteador e das peças de montagem para o ambiente externo, é necessário ainda um servidor para oferecer a autenticação e coleta de estatísticas, bem como também o serviço

web, onde as ferramentas de gerência dos nós e da qualidade dos links serão executadas.

A métrica mais comumente utilizada para calcular as melhores rotas, na maioria dos protocolos de roteamento ad-hoc existentes, incluindo a própria especificação padronizada do protocolo de roteamento OLSR, é a quantidade de saltos mínima. Entretanto, minimizar a quantidade de saltos somente não é suficiente em um ambiente sem fio, já que por muitas vezes, a rede é densa, existem diversas rotas com o mesmo comprimento em número de saltos e diferentes qualidades sobre cada caminho. A decisão arbitrária é feita pelos algoritmos que minimizam saltos. A implementação do OLSR utiliza uma métrica que mede a qualidade dos enlaces, chamada ETX, denominada neste artigo de OLSR-ETX. Essa extensão tenta encontrar caminhos com o menor número de transmissões necessárias para entregar um pacote ao seu destino final.

3.2 SIMULAÇÃO EM AMBIENTE ACADÊMICO

Dando continuidade a parte prática, para que a rede possa ser simulada de forma coesa, haverá testes tanto com o sistema operacional *Windows 10* quanto com o sistema operacional *Ubuntu Desktop 15.04*, pois são os dois sistemas operacionais mais utilizados pelos usuários e portanto simulam de melhor forma o que a rede propriamente dita encontrará quando implantada. No caso do teste, os hosts estarão divididos entre hosts gerais e hosts gateway, os primeiros receberão sinal do segundo que além disso tem contato com a rede externa, portanto possui a função de encaminhar os pacotes da rede interna para internet e vice versa. Para que o host seja habilitado como gateway, os pacotes de mensagens e a rota externa devem ser definidos durante a configuração do protocolo.

Para os testes realizados, serão utilizados 5 computadores equipados com placas e antenas para redes sem fio.

Também nessa fase será feita a modelagem matemática da estrutura física desenvolvida na etapa anterior. Apesar de ter um grande foco teórico, também serão necessários testes empíricos.

Para a execução, inicialmente, serão necessárias dependências que devem ser ativadas no **Sistema Operacional Linux**, bem como os pacotes: Para Silva (2015), os pacotes necessários para se trabalhar com redes mesh nesse sistema operacional são:

- Pacote para descompactar o arquivo que contém os fontes da implementação do

protocolo;

```
# apt-get install bzip2
```

- Pacote que possui o binário necessário para que o código seja compilado;

```
# apt-get install make
```

- Compiladores necessários para compilar o código;

```
# apt-get install gcc g++
```

- Pacote que contém um lista de pacotes considerados essenciais;

```
# apt-get install build-essential
```

- Pacotes flex e bison que são códigos projetadas para auxiliar no desenvolvimento de compiladores;

```
# apt-get install bison flex
```

- Pacote que instala algumas ferramentas a serem utilizadas na configuração do protocolo como o utilitário iwconfig, iwlist, etc

```
# apt-get install wireless-tools .
```

Findadas as instalações, o sistema estará apto para receber a instalação do protocolo OLSRD. A instalação é bem simples e se dá em três passos:

- Download da ultima versão do protocolo OLSRD via wget;

```
# wget -c
```

```
http://www.olsr.org/releases/0.6/olsrd-0.6.0.tar.bz2
```

- Descompactação do pacote;

```
# tar -jxvf olsrd-0.6.0.tar.bz2
```

- Compilação.

```
# cd olsrd-0.6.0
```

```
# make
```

```
# make install
```

Já para o **Sistema Operacional Windows**, que foi testado especificamente por possuir um número ainda superior de usuários, já que quando a rede for efetivamente implantada a grande maioria de nós será composta por computadores com este sistema operacional. O download da versão do protocolo OLSRD para Windows está disponível em: <http://www.olsr.org/releases/0.5/olsrd-0.5.6-r3-pre-cac1df64dcd5-setup.exe>

Concluído o download, o protocolo deve ser instalado clicando duas vezes sobre o executável e posteriormente clicando em *Next* quantas vezes necessário até que se finde a instalação.

É interessante salientar que as versões para *Windows* não são frequentemente atualizadas, tais quais as que foram feitas pra *Linux*, por isso, neste trabalho serão utilizadas

versões distintas para cada uma das plataformas.

A Figura 8 ilustra a tela principal do OLSRD e o exemplo de uma simulação de Redes Mesh semelhante ao que será implantado neste trabalho. Importante inferir que o OLSRD apresenta inúmeras funções que serão exploradas, sendo principais a análise de rota e análise de nós.

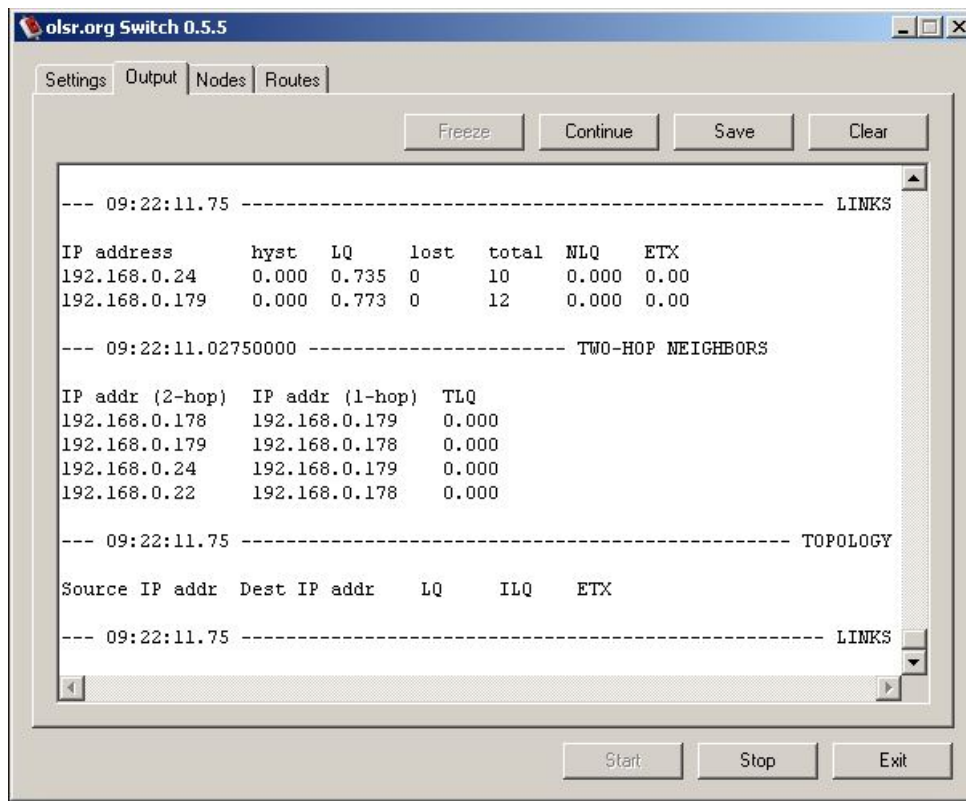


Figura 8 – Exemplo Tela OLSRD

Fonte: (KUMAR; SENGUPTA, 2010)

4 IMPLANTAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DA REDE

Antunes et al. (2012) descreve uma métrica para implantação de Rede Mesh. Para instalação da Rede Mesh serão utilizados equipamentos de rádio *Nanostation5*, fabricados pela empresa Ubiquiti Networks. Tais equipamentos devem ser facilmente encontrados no mercado e possuem um custo baixo, cerca de R\$390.00, com uma estrutura física pronta para o ambiente externo. Outra característica importante do rádio, é que segundo Ubiquiti (2011) possui cápsula protetora própria para ambiente externo à prova d'água. Este equipamento possui uma saída para antena externa e uma saída para cabo de rede UTP, o qual também serve de alimentação através de módulo. A configuração de hardware do equipamento é de 4 MB de memória flash e 16 MB de memória RAM, com CPU Atheros de 180 Mhz.

Além das antenas externas omni de cada rádio, o *Nanostation5* possui uma antena interna setorial de 14 dbi de ganho, sendo 55angle o ângulo de polarização horizontal e 18angle o ângulo de polarização vertical.

Tanto o padrão 802.11a quanto o 802.11b poderiam ser adotados para este projeto, todavia adotar-se-a o 802.11a devido a saturação do espectro na faixa de 2,4Ghz, única disponível no padrão 802.11b, o que aumentaria a chance de interferências. O padrão IEEE 802.11a usa técnicas de transmissão baseadas no esquema OFDM, pois, o OFDM usa espectro com eficiência e resiste à degradação do sinal sem fio, como o enfraquecimento por múltiplos caminhos (TANENBAUM; WETHERAL, 2011). Neste trabalho utilizar-se-a o padrão IEEE 802.11a, diferentemente dos projetos citados previamente, que utilizaram o padrão IEEE 802.11b. O roteamento foi configurado para utilizar o protocolo OLSR Clausen et al. (2003), trata-se de um protocolo pró-ativo e que tem sido utilizado com sucesso em quase todas implementações de rede em malha sem fio, além de possuir uma implementação disponível e *open source* para o *firmware* deste projeto. Um dos pontos principais deste protocolo é sua estabilidade, sobretudo porque todos os protocolos de roteamento para redes mesh sem fio não são completamente homologados pela IEEE. A construção de rotas é realizada pelo OLSR que elege alguns nós aleatórios como *Multipoint Relay* (MPR), sendo estes responsáveis pelo roteamento de nós vizinhos. Além disso, o OLSR também utiliza a qualidade de enlaces de rádio como métrica no cálculo de rotas.

Pretende-se instalar os equipamentos no ponto mais alto possível, no Bloco A da UTFPR-Câmpus Medianeira.

O firmware disponibilizado pelo fabricante do rádio não implementa o protocolo OLSR Ubiquiti (2011) e também não permite sua instalação. Para utilização do protocolo de roteamento escolhido optar-se-a pelo OpenWRT, especificamente com as distribuição de firmware DD-WRT e Freifunk.

Na Figura 9 pode-se ver o básico para a concepção de um nó Mesh, tal qual pretende-se instalar neste projeto.



Figura 9 – NanoStation e Antena 8dbi

Fonte: (ANTUNES et al., 2012)

5 VIABILIDADE E CRONOGRAMA PRELIMINAR

Neste capítulo será avaliada a viabilidade do projeto e será apresentado um cronograma preliminar de desenvolvimento das ações

5.1 VIABILIDADE

O projeto foi declarado viável, ao passo que a rede, ainda que somente utilizada para testes em um primeiro momento, pode vir a atingir toda região que circunda a universidade, aproximando pessoas com pouco ou ausentes de contato com a Web.

O principal motivo de o projeto ser viável é tentar mostrar que além de ter um custo ínfimo, uma rede mesh pode trazer uma boa qualidade de conexão para seus usuários; Cabe ainda avaliar que as manutenções são simples e roteadores em geral, possuem baixo valor agregado.

5.2 ESPECIFICAÇÃO DO ESPAÇO

A rede foi implantada no espaço acadêmico da UTFPR- Câmpus Medianeira, a parte de simulação de testes aconteceu no laboratório L-13, que propiciou a utilização de alguns computadores e por isso, dos dois sistemas operacionais mais utilizados.

Já a parte física foi implantada para testes na biblioteca da instituição, por ser um local com uma altura considerável em relação ao resto do prédio, já os outros roteadores foram colocados a um certo espaço e altura, para melhor teste de propagação da rede.

Os números de IP's atribuídos tanto para a simulação quanto para a rede propriamente dita foram 192.168.0.1/24 para o servidor e os subsequentes .2 e .3 para os nós da rede e poderiam

ser atribuídos quantos mais fossem necessários, já os números de *Domain Name System*, (DNS utilizados foram escolhidos em um repositório de DNS livres.

A ideia da topologia da rede pode ser melhor expressa através da Figura: A Figura 10 ilustra de forma concisa topologia a forma que a rede foi constituída, reiterando o fato de que cada cliente pode se comunicar com outro através da busca pela melhor rota Ad-Hoc. Importante apontar sobre a ilustração que se mais clientes fossem adicionados não haveria problema algum e também se por ventura um novo Nó AP fosse adicionado, ainda que fosse alcançado somente por um cliente, os outros poderiam utilizar-se de acesso via este host.

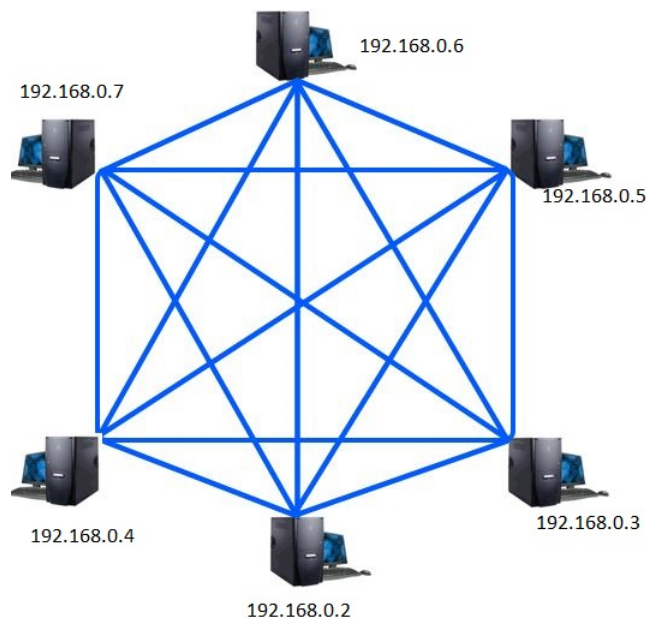


Figura 10 – Topologia WiMesh

Fonte: Adaptado de (GHELI, 2012)

5.3 ESPECIFICAÇÃO DA REDE

Nós mesh – São os nós que formam a malha, ou seja, constituem os diferentes caminhos possíveis e geram a redundância característica de uma rede mesh. Utilizam-se do firmware Freifunk baseado em OpenWRT. Há facilidade em adicionar novos nós como estes, aliado ao fato de que cada nó há autoconfiguração pelo cálculo das rotas e descobrimento dos vizinhos. Operam em modo Ad-Hoc, além de agirem como o DHCP da rede, ou seja, ao adicionar um

ponto de acesso à eles, os mesmos se encarregam de encaminhar um IP a este cliente.

Nós AP – São também conhecidos como *hostspots*. Oferecerão cobertura Wi-fi em uma determinada área, além de entregar um endereço IP válido aos clientes da rede. Ele se utiliza do firmware DD-WRT, o mais utilizado entre os softwares para roteadores existentes. É importante lembrar que estes nós, apesar de serem a ampla minoria, são os únicos que mantêm contato direto com a rede.

Como possuem funções diferentes na rede, esses dois tipos de nós também vão atuar em frequências distintas(ortogonais entre si),para que não haja interferências entre eles.

A rede fora montada utilizando três locais distintos da instituição, em andares diferentes para melhor avaliação de distância. O ponto central da rede, onde se encontrara o Nó AP fora o mais alto, para menor chance de interferências e aumento de alcance; Já os Nós Mesh foram instalados em pontos de mesma altura, porém com distância de 500m entre si.

A medida foi adotada para que houvesse uma melhor percepção se os pacotes não sofreriam taxas de perdas altas com a disposição, além de garantir que os locais com maior fluxo de pessoas fossem atendidas.

5.4 TESTES DE DESEMPENHO

Dada a configuração básica, acrescentando os protocolos OLSR e também o 802.11a para evitar interferência,faz-se necessário a realização de testes que possam avaliar as características que a rede traz consigo; Para isso foram utilizadas algumas ferramentas que puderam delinear de forma mais coesa se a rede realmente atingiu os objetivos esperados.

Iperf: O Iperf é uma ferramenta comumente utilizada em sistemas *Linux*, mas hoje em dia há também uma versão para *Windows*, em ambos os casos, o *download* pode ser feito de forma gratuita. A principal função dessa ferramenta é medir o *throughput* que é suportado entre TCP ou UDP entre dois pontos da rede.

A ilustração que a Figura 11 traz é do *Iperf*, onde há o fluxo UDP entre um computador e um *Access Point*, ambos conectados em modo cliente; É interessante salientar que no momento da captura, a rede estava em modo ocioso, por isso os dados são em gerais homogêneos. A relação entre a distância, ângulo e altura entre os pontos poderia alterar o resultado, afinal por mais que todos os nós se comuniquem entre si e utilizem a melhor rota, nós que se encontram distantes precisam passar por outros nós para trocarem informações, o que demanda mais

tempo.

```
Client connecting to 192.168.0.2, UDP port 5001 DSCP 0
Sending 8192 byte datagrams
UDP buffer size: 0.06 MByte (default)
-----
[384] local 192.168.0.101 port 50514 connected with 192.168.0.2 port 5001
[476] local 192.168.0.101 port 50515 connected with 192.168.0.2 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[384] 0.0- 2.0 sec  0.24 MBytes 1.02 Mbits/sec
[476] 0.0- 2.0 sec  0.24 MBytes 1.02 Mbits/sec
[SUM] 0.0- 2.0 sec  0.48 MBytes 2.03 Mbits/sec
[384] 2.0- 4.0 sec  0.24 MBytes 1.02 Mbits/sec
[476] 2.0- 4.0 sec  0.24 MBytes 1.02 Mbits/sec
[SUM] 2.0- 4.0 sec  0.48 MBytes 2.03 Mbits/sec
[384] 4.0- 6.0 sec  0.23 MBytes 0.98 Mbits/sec
[476] 4.0- 6.0 sec  0.23 MBytes 0.98 Mbits/sec
[SUM] 4.0- 6.0 sec  0.47 MBytes 1.97 Mbits/sec
[384] 6.0- 8.0 sec  0.24 MBytes 1.02 Mbits/sec
[476] 6.0- 8.0 sec  0.24 MBytes 1.02 Mbits/sec
[SUM] 6.0- 8.0 sec  0.48 MBytes 2.03 Mbits/sec
[384] 8.0-10.0 sec  0.23 MBytes 0.98 Mbits/sec
[476] 8.0-10.0 sec  0.23 MBytes 0.98 Mbits/sec
[SUM] 8.0-10.0 sec  0.47 MBytes 1.97 Mbits/sec
[476] 0.0-10.1 sec  1.20 MBytes 1.00 Mbits/sec
```

Figura 11 – Comunicação entre dois nós adjacentes

Fonte: Autoria Própria

Outra função interessante do *Iperf* pode ser ilustrada pela Figura 12, onde apresenta-se a mudança do fluxo de informações quando um download é iniciado na rede, ainda que em um nó diferente; Em outras ferramentas utilizadas neste trabalho isso também é possível, todavia, o *Iperf* apresenta com maestria os valores de *Jitter* e Perda de Pacotes, ideais para análises coesas de redes.

Putty: O Putty é um software que permite o acesso a cada nó de forma remota, podendo assim examinar o estado da rede e configuração através de cada nó, e entre eles, assim como o *Iperf*, o Putty é um software multiplataforma.

Ping: Mais básica e popular ferramenta utilizada no mundo. Reporta não somente o atraso médio entre dois pontos que estejam no alcance da rede e número de pacotes perdidos e recebidos. Por toda simplicidade presente, é útil na hora de fazer testes rápidos de conexões. Ferramenta mais básica e popular utilizada nos projetos de redes. Ela reporta o número de pacotes perdidos e o atraso médio entre dois pontos que estejam no alcance da rede. É, sobretudo útil, na hora de fazer um teste rápido das conexões pela sua rapidez de utilização, além de poder obter resposta de qualquer ponto, sem precisar que o outro esteja esperando ou nem sequer escutando o canal.

Traceroute: Informa o caminho seguido pelos pacotes até um destino definido pelo usuário, devolvendo o endereço IP dos dispositivos de camada 3 que ele percorre até lá. Útil para saber por qual dos nós estão passando os pacotes em uma rede mesh.

NetPerSec: Ferramenta para Windows que examina o tráfego através da placa rede

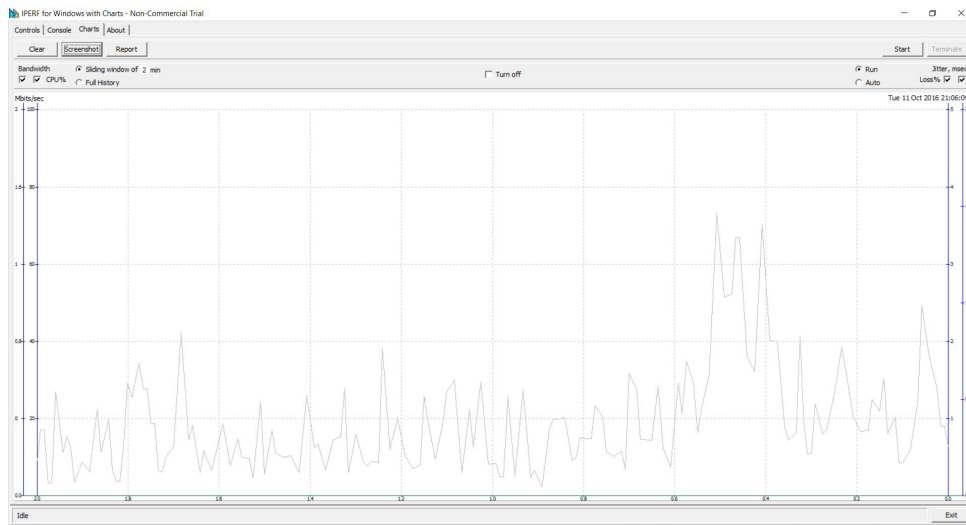


Figura 12 – Análise de Banda Utilizando Iperf

Fonte: Autoria Própria

do computador, e informa a velocidade para *download* e *upload*. Especificamente na figura 13, pode-se perceber que a rede, mesmo quando passando por download, permanece estável. Assim como visto outrora, o cliente recebe aumento de uso de dados quando está na topologia, ainda que com seu nó ocioso. Como a ferramenta não consegue acessar nada diferente da placa de rede do dispositivo, é interessante avaliar que a rede toda trabalha com um fluxo de informações maior quando um de seus nós desempenha algo que demande mais banda.

Para que a rede fosse avaliada de forma coerente, foram adotadas 4 métricas de QoS e uma quinta medida chamada restabelecimento de rota, característica peculiar das Redes Ad Hoc e portanto, das Redes Mesh.

As 4 métricas seguidas foram: Throughput, Latência, Perda de Pacotes e Jitter.

Throughput: Quantidade de informação que a rede é capaz de transmitir em um período de tempo. Não se deve confundir com a largura de banda, que é a capacidade teórica de um enlace;

Latência: Também conhecida como *delay*, que é uma medida de tempo que demora para um pacote viajar entre um ponto e outro da rede, o que nos implica inferir a soma de todos os atrasos que a rede possa vir a sofrer enquanto há o processo de comunicação;

Perda de pacotes: O cálculo da média da probabilidade de um pacote ser perdido em um certo período de tempo.

Jitter: É uma medida que trata das variações de atraso em um determinado período de tempo. Resultados médios foram obtidos, com a configuração de rede explicada acima, e com

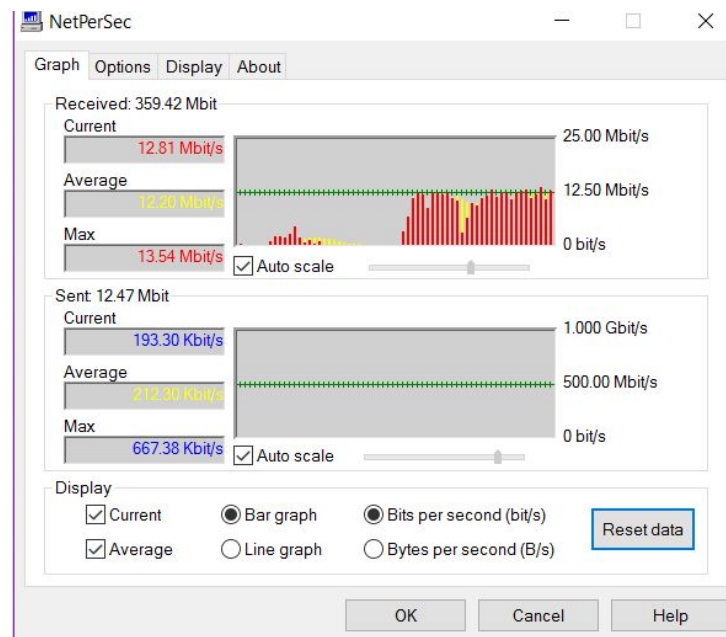


Figura 13 – Fluxo de Dados NetPerSec

Fonte: Autoria Própria

um intervalo de confiança de 90%.

A Figura 14 ilustra uma situação semelhante à anterior, contudo o *Iperf* traz informações mais importantes, por exemplo, neste caso quando um *download* é iniciado em um outro nó, além do fluxo, aumenta a quantidade de pacotes perdidos em todos os outros clientes da rede.

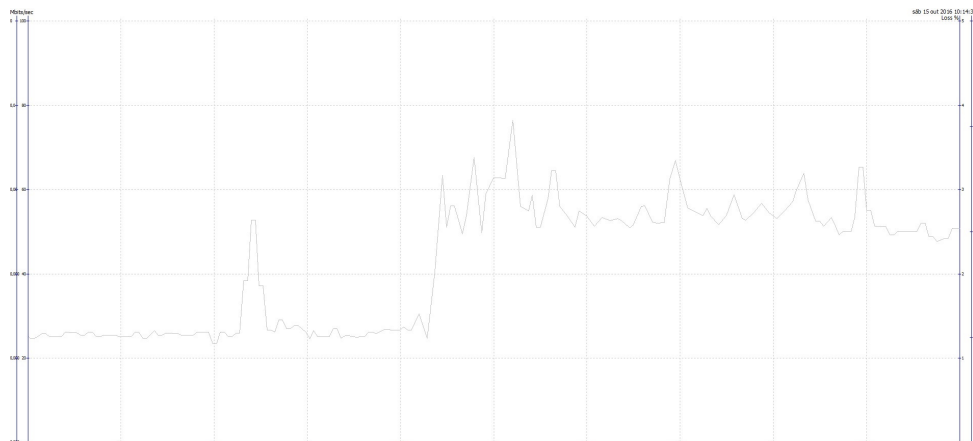


Figura 14 – Fluxo de Dados e Perdas Iperf

Fonte: Autoria Própria

5.5 COMPARAÇÃO ENTRE REDES MESH E WIMAX

Nesta sessão, a ideia é comparar os resultados obtidos na Rede Mesh, com os contidos no estudo de Anouari e Haqiq (2012) que aborda os parâmetros de QoS para Redes WiMax.

É preciso delinear que a Rede Mesh é formada por vários pontos de acesso, em geral curtos, que se interconectam, bem como se conectam a computadores clientes, o que leva inferir que cada novo membro é transmissor e receptor, semelhante ao conhecido como P2P (Peer-to-Peer)

Ghosh et al. (2005) descreve que quando trata-se do WiMax, a abordagem é circunstancialmente diferente, ao passo que há uma estação central de longo alcance transmitindo a inúmeros clientes, na denominada topologia estrela.

A Tabela 1 apresenta os resultados médios para os parâmetros explanados anteriormente. O restabelecimento é a característica singular da Rede Mesh e como a tabela bem ilustra, em 6 ms, quando um nó é desativado ou retirado, a rede se restabelece e os outros nós podem voltar a se intercomunicar. Ainda, que bons, os resultados poderiam ser superiores se os roteadores estivessem à uma altura ou ângulo ideais em relação à si mesmos e sobretudo ao ponto central.

Tabela 1 – Resultados médios Redes Mesh

Throughput	1,02 Mbp/s
Perda de Pacotes	3,6%
Latência	30 ms
Jitter	6,28 ms
Restabelecimento	6 ms

A Tabela 2 apresenta os dados médios para os mesmos parâmetros do WiMesh, todavia sem o restabelecimento de rota automático, pois a rede não tem essa característica presente, dificultando assim o teste específico. Já os outros resultados como Throughput, Perdas e Latência são melhores que os apresentados anteriormente para as Redes Mesh. Anouari e Haqiq (2012) define através de gráficos as seguintes asserções médias transcritas em tabela sobre o WiMax:

Os resultados encontrados são inferiores aos obtidos pela rede WiMax, no entanto como o custo é essencialmente menor em uma Rede Mesh, e o seu uso é indicado apenas para usuários comuns, estes resultados podem ser considerados ótimos e mostram que para atender localidades de difícil acesso, as Redes Mesh podem ser tranquilamente utilizadas.

A Tabela 3 ilustra quais são os gastos mínimos para implantação de uma Rede Mesh

Tabela 2 – Resultados Médios WiMax

Throughput	1,72 Mbps
Perdas	2,1%
Latência	20 ms
Jitter	4,5 ms
Restabelecimento	-

básica e uma Rede WiMax básica; Como previsto anteriormente os custos Mesh são inferiores, em uma relação de 32,6% menor aproximadamente.

Cabe salientar que esses dados são de redes básicas, como a que fora implantada para testes e uma Rede WiMax, se o intuito fosse a criação de redes que atendessem um bairro, ou uma cidade, a diferença de custos seria ainda maior, visto que para aumentar a rede mesh seriam necessários apenas roteadores comuns, enquanto na WiMax utilizar-se-ia tecnologias com um custo superior.

Tabela 3 – Análise de Custos WiMesh vs Wimax

Custo Wimesh		Custo WiMax
Equipamento de Rádio: R\$390,00		CPE WiMax: R\$843,00
Roteador Wimesh: R\$ 287,00		Roteador WiMax com Ethernet : R\$ 542,00 (3)
Roteadores Comuns: R\$ 90,00 (3)		
Total Wimesh: R\$ 947,00		Total WiMax: R\$ 1385,00

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção serão apresentadas as conclusões, bem como trabalhos futuros, que podem ser concebidos para um melhor aproveitamento da rede e aumento de funções.

6.1 CONCLUSÕES

O trabalho conseguiu atingir o objetivo inicial de demonstrar a eficiência e viabilidade de uma rede em malha sem fio.

A altura e a distância relativa de cada ponto da rede influenciaram no resultado obtido, isso aconteceu devido ao ângulo de propagação das antenas utilizadas, que irradiam o sinal em determinado plano, ou zona. O melhor cenário para utilização deste tipo de rede acontece quando as antenas estão no mesmo plano horizontal, ou com pouca variação de altura entre elas.

Desta forma foi possível observar um bom desempenho na qualidade de sinal na rede WiMesh com uso de antena adaptativa. Este resultado é muito importante, pois se pode aplicar a solução em outros ambientes além das áreas metropolitanas.

Foi possível concluir também que utilizando as diferentes estratégias de configuração de antenas, alcançou-se bons resultados em ganho de sinal e largura de banda para o modo adaptativo.

Este estudo apresentou uma solução eficaz e de baixo custo para redes metropolitanas e em malha sem fio. Com os resultados encontrados é possível concluir que, em redes com pouca quantidade de saltos entre os nós, os serviços de acesso à Internet possuem boa qualidade.

O trabalho conseguiu contemplar de forma concisa o WiMax e o que a tecnologia pode agregar à grandes corporações ou até mesmo pequenas empresas que necessitam de altas taxas para fluxo de dados.

Outra característica importante aqui apresentada fora um modelo de hardware que pode ser facilmente encontrado e com baixo custo de implantação, além de pequeno valor agregado,

potencializando a melhor qualidade da Rede Mesh que é atingir conglomerados de pessoas com arquiteturas de baixo custo.

Os resultados encontrados foram considerados bons, levando-se em consideração a simplicidade da rede implantada e seu custo inferior em relação à outras WMAN's, tendo Throughput e Jitter quase que semelhantes inclusive à uma Rede WiMax.

Por fim, a pesquisa atingiu dois pontos considerados básicos para aplicação do estudo: Apresentar um modelo de arquitetura para Redes Mesh de baixo custo e comparar o referido modelo com uma arquitetura WiMax, delineando vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Por se tratar de um projeto a baixo custo, a adição de roteadores possibilitaria a expansão da rede de forma simples, já que cada um deles receberia apenas uma repetição da configuração já implantada.

O projeto poderia ter seu alcance aumentado, podendo ser disponibilizado acesso para web à toda região que circunda a universidade, de forma livre como em alguns locais ou à um custo ínfimo.

Este projeto de rede apresenta muitas possibilidades de expansão e adição de funcionalidades, que podem ser testadas e incorporadas, como por exemplo VoIP, que conforme Kao et al. (2016) pode ser tranquilamente implantado e seria um ótimo benefício aos utilizadores.

Uma possível expansão seria a criação de autenticação no acesso, melhorando não somente a segurança, como também o controle dos usuários e banda por eles utilizados.

Outra possível expansão seria a utilização de WiMax associado esta rede, podendo assim cobrir todo o município e atender requisições que necessitem de altas taxas de transferência e banda.

REFERÊNCIAS

- AFZALI, M.; KHATIBI, V.; HAROUNI, M. Connection availability analysis in the wimax mesh networks. In: **Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. v. 5, p. 699–703.
- AGUIAR¹, E. S.; ABELÉM, A. J. G.; DAMALIO, D. B.; GOMES, R. L.; PINHEIRO, B. A. Segurança em redes mesh: Tendências, desafios e aplicações.
- AKYILDIZ, I.; WANG, X. **Wireless mesh networks, volume 3**. [S.l.]: John Wiley and Sons., 2009.
- ANOUARI, T.; HAQIQ, A. Performance analysis of voip traffic in wimax using various service classes. **International Journal of Computer Applications**, 2012.
- ANTUNES, R. A.; SCARSELLI, R. B.; OLIVEIRA, R. de; NASCIMENTO, V. E.; FERREIRA, E. T.; SHINODA, A. A. "montagem e configuração de um laboratório de rede mesh outdoor como suporte ao ensino e à pesquisa na Área de comunicação wireless". "XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA", 2012.
- AVALLONE, S.; STASI, G. D. Wimesh: A tool for the performance evaluation of multi-radio wireless mesh networks. In: **2014 6th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–5. ISSN 2157-4952.
- AVALLONE, S.; STASI, G. D. Wimesh: A tool for the performance evaluation of multi-radio wireless mesh networks. In: **2014 6th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–5. ISSN 2157-4952.
- BENOIT, H. **Digital television-Satellite, cable, terrestrial, iptv, mobile tv in DVB**. [S.l.]: Focal Press, 2008.
- BRITTON, M.; COYLE, A. Performance analysis of the b.a.t.m.a.n. wireless ad-hoc network routing protocol with mobility and directional antennas. In: **Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS), 2011**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–6.
- BRUNO, R.; CONTI, M.; GREGORI, E. Mesh networks: commodity multihop ad hoc networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 43, n. 3, p. 123–131, March 2005. ISSN 0163-6804.
- CHATURVEDI, A.; TIWARI, D.; BHADORIA, R. S.; DIXIT, M. Route discovery protocol for optimizing the power consumption in wireless ad-hoc network. In: **Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2013 International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 290–294.
- CICCONETTI, C.; ERTA, A.; LENZINI, L.; MINGOZZI, E. Performance evaluation of the mesh election procedure of ieee 802.16/wimax. In: **Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2007. (MSWiM '07), p. 323–327. ISBN 978-1-59593-851-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1298126.1298181>>.

CLAUSEN, T.; JACQUET, P.; ADJIH, C.; LAOUITI, A.; MINET, P.; MUHLETHALER, P.; QAYYUM, A.; VIENNOT, L. Optimized link state routing protocol (olsr). **RFC 3626, Oct.**, 2003.

CONCEIÇÃO, A. L. da. Redes sem fio: Protocolo bluetooth aplicado em interconexão entre dispositivos. 2012.

DELY, P.; KASSLER, A.; BAYER, N. Openflow for wireless mesh networks. In: IEEE. **Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011 Proceedings of 20th International Conference on.** [S.l.], 2011. p. 1–6.

DETTI, A.; PISA, C.; SALSANO, S.; BLEFARI-MELAZZI, N. Wireless mesh software defined networks (wmsdn). In: IEEE. **2013 IEEE 9th international conference on wireless and mobile computing, networking and communications (WiMob).** [S.l.], 2013. p. 89–95.

FAGUNDES, E. M. "wimax". 2006. Disponível em: <<http://http://efagundes.com/artigos/wimax/>>.

FEHER., K. **Detection, communication and control in multimode cellular, TDMA, GSM, spread spectrum, CDMA, OFDM WiLAN and WiFi systems.** Google Patents, nov. 13 2012. US Patent 8,311,509. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US8311509>>.

GHELI, A. **Understanding Mesh Topology.** [S.l.: s.n.], 2012.

GHOSH, A.; WOLTER, D. R.; ANDREWS, J. G.; CHEN, R. Broadband wireless access with wimax/802.16: current performance benchmarks and future potential. **IEEE Communications Magazine**, v. 43, n. 2, p. 129–136, Feb 2005. ISSN 0163-6804.

GRABIANOWSKI, E.; BRAIN, M. "como funciona o wimax". 2002. Disponível em: <<http://tecnologia.hsw.uol.com.br/wimax.htm>>.

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Sistemas modernos de comunicações wireless.** [S.l.]: Bookman, 2008.

IEEE. "IEEE Tandard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", 2005. Disponível em: <www.scopus.com>.

ISHMAEL, J.; BURY, S.; PEZAROS, D.; RACE, N. Deploying rural community wireless mesh networks. **Internet Computing, IEEE, IEEE**, v. 12, n. 4, p. 22–29, 2008.

JARDIM, F. de M. **Guia Profissional de Redes Wireless: Volp, Wi-Fi, Bluetooth, Wimax, Infravermelho e Skype.** [S.l.]: Digerati Books, 2005.

KAO, S. P.; LEE, Y. S.; CHEN, Y. C.; CHEN, J. L.; YANG, K. H. Server selection mechanism for voip system in wireless mesh networks. In: **2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT).** [S.l.: s.n.], 2016. p. 394–400.

KIM, M.; RA, I.; YOO, J.; KIM, D.; KIM, H. Qos mesh routing protocol for iee 802.16 based wireless mesh networks. In: **Advanced Communication Technology, 2008. ICACT 2008. 10th International Conference on.** [S.l.: s.n.], 2008. v. 1, p. 812–817. ISSN 1738-9445.

KOTVISKI, A. O que são redes ad hoc? 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/internet/2792-o-que-sao-redes-ad-hoc-.htm>>.

KUMAR, S.; SENGUPTA, J. Aodv and olsr routing protocols for wireless ad-hoc and mesh networks. In: **Computer and Communication Technology (ICCT), 2010 International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 402–407.

LUO, C.; GUO, S.; GUO, S.; YANG, L. T.; MIN, G.; XIE, X. Green communication in energy renewable wireless mesh networks: Routing, rate control, and power allocation. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, v. 25, n. 12, p. 3211–3220, Dec 2014. ISSN 1045-9219.

NAKANO, H.; SUZUKI, N.; ISHII, T.; YAMAUCHI, J. Mesh antennas for dual polarization. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 49, n. 5, p. 715–723, May 2001. ISSN 0018-926X.

OUACHA, A.; LAKKI, N.; ABBADI, J. E.; HABBANI, A.; KOUTBI, M. E. Olsr protocol enhancement through mobility integration. In: **Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2013 10th IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 17–22.

PASSOS, D.; TEIXEIRA, D. V.; MUCHALUAT-SAADE, D. C.; MAGALHÃES, L. C. S.; ALBUQUERQUE, C. Mesh network performance measurements. In: **International Information and Telecommunicatios Technologies Symposium (I2TS)**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 48–55.

PINTO, E. L.; ALBUQUERQUE, C. P. de. "a técnica de transmissão ofdm". **"Revista Científica Periódica - ITA"**, 2002. ISSN 1516-2338.

REMESH-UFF-RNP, P. **Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga Sem Fio**. 2006.

SAKAMOTO, S.; ODA, T.; IKEDA, M.; BAROLLI, L.; CABALLÉ, S.; XHAFI, F. Optimization of number of mesh routers in wmnns using wmn-sa system considering uniform distribution for different number of mesh clients. In: **Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2014 Ninth International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 133–138.

SILVA, Z. S. Construindo roteadores wi-mesh com gnu/linux e olsr. 2015.

STOLFI, G. Intercalamento temporal com transformada de fourier para modulação ofdm uma técnica inovadora para transmissão de sinais com aplicações em tv digital de alta definição. 2008. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1575454/>>.

SUBRAMANIAN, A. P.; LUNDGREN, H.; SALONIDIS, T.; TOWSLEY, D. Topology control protocol using sectorized antennas in dense 802.11 wireless networks. In: **Network Protocols, 2009. ICNP 2009. 17th IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–10. ISSN 1092-1648.

TANENBAUM, A. S.; WETHERAL, D. J. **Redes de Computadores - 5ª Ed. - 2011**. [S.l.]: PEARSON EDUCATION - BR, 2011.

TORRIERI, D. **Principles of Spread-Spectrum Communication Systems**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2015.

UBIQUITI, N. "airos v users guide". 2011. Disponível em: <http://ubnt.com/wiki/AirOS_5>.