

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**JOÃO PAULO RIBEIRO CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE PROTOCOLOS DE  
ROTEAMENTO NAS REDES EM MALHA - OLSR E B.A.T.M.A.N.**

**CRICIÚMA**

**2014**

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**JOÃO PAULO RIBEIRO CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE PROTOCOLOS DE  
ROTEAMENTO NAS REDES EM MALHA - OLSR E B.A.T.M.A.N.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc. Paulo João Martins

**CRICIÚMA**

**2014**

---

**JOÃO PAULO RIBEIRO CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE PROTOCOLOS DE  
ROTEAMENTO NAS REDES EM MALHA - OLSR E B.A.T.M.A.N.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Redes.

Criciúma, 30 de junho de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. MSc. Paulo João Martins - (UNESC) - Orientador



Prof. MSc. Rogério Antônio Casangrande - (UNESC)



Prof. Esp. Sérgio Coral - (UNESC)

## **AGRADECIMENTOS**

Este projeto de conclusão de curso faz parte integrante do grupo de pesquisa de redes de comunicação e do curso de Ciências da Computação, vinculado a UNACET – Unidade Acadêmica de Ciências Exatas e da Terra. Portanto, agradeço o apoio do curso de Ciência da Computação para a realização deste projeto na figura da Professora Ana Cláudia Garcia Barbosa, coordenadora do curso. Bem como ao Professor Rogério Antônio Casagrande, integrante do referido grupo de pesquisa. A Margarete Dagostin por sempre ter prestado grande auxílio e apoio com as mais diversas questões administrativas referentes ao curso.

Agradeço também a Professora Priscyla Waleska Targino de Azevedo Simões, responsável pelo laboratório dos grupos de pesquisa vinculado ao curso de Ciência da Computação, com apoio da FINEP – (Financiadora de Estudo e Projetos) e FAPESC – (Fundação Amparo a Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina). Ao Professor Paulo João Martins por todo o auxílio prestado para que este trabalho pudesse ser realizado e concluído.

Por fim, não menos importante, aos meus pais, João, Iraí e toda minha família pela dedicação e compreensão que tiveram durante todo esse longo percurso. A Mayumi por estar sempre ao meu lado me apoiando para sempre continuar em frente. E a todos os meus amigos por me incentivarem de todas as maneiras possíveis.

## RESUMO

Redes sem fio estão cada vez mais presentes em nossas vidas e estão constantemente evoluindo. Entretanto, o alcance do sinal normalmente é bastante limitado e uma maneira de aumentar este alcance é por meio de redes mesh, com uma variada gama de protocolos de roteamento que são responsáveis pelo fluxo de dados dentro da rede. Este trabalho trata da avaliação de desempenho entre os protocolos proativos *Optimized Link State Routing* e *Better Approach To Mobile Adhoc Networking* em uma rede mesh. A metodologia utilizada foi a implementação de três cenários, onde foi avaliado as seguintes métricas: largura de banda, *jitter*, *throughput* e datagramas perdidos, sendo realizada uma média aritmética para cada situação dentro de um determinado cenário. Os resultados apresentados indicaram que os protocolos em questão obtiveram desempenho similar. A diferença de desempenho evidenciada não justificou o uso de determinado protocolo em detrimento de outro, considerando os cenários abordados.

Palavras chave: Optimized Link State Routing; Better Approach To Mobile Adhoc Networking; Redes Mesh; Avaliação de Desempenho.

## ABSTRACT

Wireless networks are increasingly present in our lives and are constantly evolving. However, the signal range is usually quite limited and a way to increase this is by the application of mesh networks, with a broad range of routing protocols that are responsible for the data flow of the network. This paper talks about the performance evaluation of the proactive protocols Optimized Link State Routing and Better Approach To Mobile Adhoc Networking in a mesh network. The utilized methodology was composed of three scenarios, which were formed by the following metrics: bandwidth, *jitter*, throughput and lost datagrams, and an arithmetic mean is applied for each situation in a given scenario. The results indicates that the utilized protocols achieved similar performance. The performance difference does not justify the application of a particular protocol over another, considering the proposed scenarios.

Keywords: Optimized Link State Routing; Better Approach To Mobile Adhoc Networking; Mesh Networks; Performance Evaluation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes de uma rede sem fio. ....	20
Figura 2 - Relação entre frequência, comprimento da onda e amplitude. ....	22
Figura 3 - Diferentes tipos de modulação.....	23
Figura 4 - Canais e frequências centrais para 802.11b.....	25
Figura 5 - Topologia de WMN Metropolitana.....	30
Figura 6 - Nós MPR em uma rede mesh OLSR. ....	36
Figura 7 - Formato de um pacote OLSR. ....	38
Figura 8 - Formato de uma mensagem HELLO. ....	39
Figura 9 - Mensagens OLSR em uma rede sem fio. ....	40
Figura 10 - Formato de uma mensagem MID.....	41
Figura 11 - Formato de uma mensagem TC. ....	41
Figura 12 - Formato de uma mensagem HNA.....	42
Figura 13 - Estrutura do protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv em um nó.....	45
Figura 14 - <i>Transmit Quality, Receive Quality e Echo Quality</i> .....	48
Figura 15 - Valor de <i>Transmission Quality</i> (TQ) atualizado a cada nó percorrido.....	49
Figura 16 - Hóspedes em uma rede mesh. ....	49
Figura 17 - Roteador Linksys WRT54G. ....	55
Figura 18 - Roteador TP-Link 841N. ....	56
Figura 19 - Disposição dos roteadores mesh. ....	58
Figura 20 - Listagem de ESSIDs do programa <i>Horst</i> . ....	59
Figura 21 - Cenário 1. ....	59
Figura 22 - Cenário 2. ....	60
Figura 23 - Cenário 3. ....	60
Figura 24 - Verificando a rota utilizando traceroute.....	61
Figura 25 - Servidor <i>Iperf</i> .....	61
Figura 26 - Exemplo de execução do cliente <i>Iperf</i> . ....	62
Figura 27 - Comparação da taxa de transferência no cenário 1.....	64
Figura 28 - Comparação do <i>jitter</i> no cenário 1. ....	65
Figura 29 - Comparação de datagramas recebidos corretamente no cenário 1. ....	65
Figura 30 - Comparação da taxa de transferência no cenário 2.....	68
Figura 31 - Comparação do <i>jitter</i> no cenário 2. ....	68
Figura 32 - Comparação de datagramas recebidos corretamente no cenário 2 .....	69

Figura 33 - Comparação da taxa de transferência no cenário 3.....	72
Figura 34 - Comparação do <i>jitter</i> no cenário 3. ....	72
Figura 35 - Comparação de datagramas recebidos corretamente no cenário 3. ....	73
Figura 36 - Criador de imagens OpenWRT.....	79
Figura 37 - Visão geral das configurações da rede sem fio. ....	80
Figura 38 - Visualização do terminal de comando acessado via <i>SSH</i> . ....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados OLSR no cenário 1 – Dados coletados .....	62
Tabela 2 - Resultados OLSR no cenário 1 – Média .....	63
Tabela 3 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 1 – Dados coletados .....	63
Tabela 4 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 1 – Média.....	64
Tabela 5 - Resultados OLSR no cenário 2 – Dados coletados .....	66
Tabela 6 - Resultados OLSR no cenário 2 – Média .....	66
Tabela 7 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 2 – Dados coletados.....	67
Tabela 8 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 2 – Média.....	67
Tabela 9 - Resultados OLSR no cenário 3 – Dados coletados .....	70
Tabela 10 - Resultados OLSR no cenário 3 – Média .....	70
Tabela 11 - Resultados B.A.T.M.A.N. no cenário 3 – Dados coletados .....	71
Tabela 12 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 3 – Média.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES	Advanced Encryption Standard
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
AP	Access Point
B.A.T.M.A.N.	Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking
BSS	Basic Service Set
CCK	Complementary Code Keying
CHAP	Challenge-Handshake Authentication Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSDV	Destination Sequenced Distance-Vector
DSR	Dynamic Source Routing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESSID	Extended Service Set Identification
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FSR	Fisheye State Routing
FTP	File Transfer Protocol
IBSS	Independent Basic Service Set
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Standards Organization
LAN	Local Area Network
LOS	Line Of Sight
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MANET	Mobile Ad hoc Networks
MPR	Multi Point Relay
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLSR	Optimized Link State Routing
OSI	Open Systems Interconnection
PING	Packet Internet Grouper

SSID	Service Set Identification
SSL	Secure Sockets Layer
TCP	Transmission Control Protocol
TORA	Temporally-Ordered Routing Algorithm
UDP	User Datagram Protocol
VAP	Virtual Access Point
VOIP	Voice Over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network
WMN	Wireless Mesh Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity

## SUMARIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 REDES DE COMPUTADORES</b> .....	<b>19</b>
2.1 REDES SEM FIO .....	19
2.1.1 Onda e Frequência .....	21
2.1.2 Modulação.....	22
2.1.3 Largura de Banda .....	24
2.1.4 Canais.....	24
2.1.5 Padronização .....	25
2.1.6 <i>Media Access Protocol</i> no 802.11 .....	28
2.2 REDES MESH.....	29
2.2.1 Arquitetura .....	30
2.3 CLASSIFICAÇÃO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO .....	32
2.3.1 Protocolos de Roteamento <i>Unicast</i> .....	32
2.3.2 Protocolos de Roteamento <i>Multicast</i> .....	32
<b>3 PROTOCOLO <i>OPTIMIZED LINK STATE ROUTING (OLSR)</i></b> .....	<b>35</b>
3.1 FUNCIONAMENTO.....	35
3.2 FORMATO DO PACOTE .....	37
3.3 MENSAGENS DO PROTOCOLO .....	38
3.3.1 Mensagens HELLO.....	39
3.3.2 Mensagens MID .....	41
3.3.2 Mensagens TC .....	41
3.3.3 Mensagens HNA .....	42
3.4 ROTEAMENTO .....	43
<b>4 <i>BETTER APROACH TO MOBILE ADHOC NETWORK (B.A.T.M.A.N.)</i></b> .....	<b>44</b>
4.1 FUNCIONAMENTO.....	44
4.2 TIPOS DE PACOTE .....	45
4.3 DESCOBRIMENTO DE NÓS .....	47
4.4 DETERMINAÇÃO DA MELHOR ROTA .....	47

4.5 PROPAGAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE QUALIDADE .....	48
4.6 ANÚNCIO DE VIZINHOS .....	49
4.7 ENVIO DE PACOTES .....	50
4.8 REENCAMINHANDO E RECEBENDO PACOTES .....	51
<b>5 TRABALHOS CORRELATOS .....</b>	<b>52</b>
5.1 BUENOSAIRESLIBRE .....	52
5.2 GT-MESH.....	52
5.3 VMESH.....	52
5.4 LUGRO-MESH .....	53
5.5 AN EXPERIMENTAL COMPARISON OF ROUTING PROTOCOLS IN MULTI HOP AD HOC NETWORKS .....	53
<b>6 IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE SEM FIO MESH .....</b>	<b>54</b>
6.1 ESCOLHA DO <i>FIRMWARE</i> .....	54
6.2 ESCOLHA DO HARDWARE .....	55
6.3 IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA .....	56
6.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO .....	57
6.5 FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO (IPERF) .....	57
6.6 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE TESTES.....	58
6.7 RESULTADOS OBTIDOS.....	61
<b>6.4.1 Primeiro Cenário .....</b>	<b>62</b>
<b>6.4.2 Segundo Cenário.....</b>	<b>65</b>
<b>6.4.3 Terceiro Cenário .....</b>	<b>69</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE A - CONFIGURAÇÃO DOS ROTEADORES .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE B - Artigo Sobre o Trabalho .....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais se torna evidente a necessidade de estar interligado à grande rede, independente da forma como essa conexão é realizada. Pois é por meio da Internet que se torna possível facilitar a busca pelo aperfeiçoamento de processos, compartilhamento de ideias, levando à diminuição da distância entre as pessoas. E dentre diversas formas de transmissão sem fio, o padrão IEEE 802.11, conhecido também como *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), permite o acesso sem fio aos mais variados dispositivos e está muito presente no dia a dia da maioria das pessoas.

Redes mesh oferecem uma solução onde não há centralização, pois, os nós se comunicam de forma direta uns com os outros. Em casos que dois nós estejam fora de alcance mútuo, a comunicação é realizada em múltiplos saltos, sendo que o responsável pelo percurso dentro da rede é o protocolo de roteamento.

Todavia, a escolha do melhor caminho irá depender de fatores como a métrica utilizada pelo protocolo, como, por exemplo, a utilização de rotas com menores taxas de erros ou caminho mais curto.

Com a popularização das redes sem fio no Brasil, novos projetos tem sido formados, como GT-Mesh (<http://mesh.ic.uff.br>), que propõe disponibilizar mesh nas comunidades situadas ao redor do campi da Universidade Federal Fluminense. Devido ao custo reduzido de implantação e manutenção em relação a outras tecnologias, há uma maior viabilidade de implantação em escolas, bibliotecas, prefeituras, ou mesmo, interligação de uma cidade inteira. Inclusive, existem empresas como a Wayflex Telecom, que já dispõe de redes mesh para fins comerciais.

Segundo Silveira e Sabrina (2007), o governo e a sociedade têm se mobilizado para que a maior parte da população tenha acesso à tecnologia de informação e comunicação, criando espaços públicos para uso de computadores e acesso à Internet. Porém, prover acesso para toda a comunidade é um desafio constante.

Existe uma variada gama de protocolos de roteamento para redes mesh, sendo que estes utilizam métricas distintas para determinar as rotas de comunicação e, para tanto, há a necessidade de se optar por um protocolo. Tendo como base o presente trabalho, será apresentada uma avaliação de desempenho entre dois

protocolos de roteamento, expondo suas características e obtendo resultados em diversos cenários que poderão facilitar a escolha de um determinado padrão a ser adotado na escolha de um protocolo de roteamento.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação de desempenho entre os protocolos de roteamento OLSR e B.A.T.M.A.N.-Adv utilizados nas redes em malha.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Descrever os conceitos de redes sem fio;
- b) Estudar e aplicar os conceitos de redes mesh;
- c) Apresentar os protocolos de roteamento mesh;
- d) Implantar os protocolos de roteamento *Optimized State Link Routing* (OLSR) e *Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking* (B.A.T.M.A.N.-Adv) em um *access point*;
- e) Definir cenários de avaliação de desempenho dos protocolos supracitados.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Luiz e Przybysz (2007), as redes mesh são redes *ad hoc* que se organizam e são autoconfiguráveis, onde os nós possuem uma localização fixa e são dispostos em uma topologia mesh. Dentro das redes, um mesmo nó pode desempenhar papéis distintos: cliente e roteador. As informações são geradas em nós clientes, e os nós roteadores fazem com que tais informações sejam transmitidas até o *gateway*. Entretanto, deve-se ressaltar que, diferentemente das redes mesh, as redes *ad hoc* têm uso limitado por consequência do pouco incentivo de seus participantes no compartilhamento de recursos (ABELÉM et al., 2007).

Um dos objetivos das redes mesh é disponibilizar acesso à rede de qualquer lugar, sendo que se diferencia de redes *ad hoc* por seu funcionamento ser

baseado em um *backbone* sem fio e fixo. Desta maneira, os protocolos se dedicam a buscar a melhor rota, sendo este um fato que varia muito em redes sem fio, devido às constantes mudanças do meio, como interferência, deslocamento de indivíduos ou mesmo deslocamento dos próprios nós.

Redes sem fio possuem sua mobilidade como um diferencial em relação a redes cabeadas. Segundo Farias (2006), em uma rede mesh os roteadores garantem a autoconfiguração e automanutenção da rede, dando a possibilidade dos nós se deslocarem por toda a rede sem a necessidade de ser realizada a autenticação em cada ponto de acesso.

Observa-se que uma parte das redes sem fio utilizadas hoje é idealizada de forma estruturada. Em ambientes domésticos é uma solução simples e fácil de ser implementada. Todavia, como esse padrão não atende com a mesma flexibilidade ambientes maiores, as redes mesh, devido ao seu baixo custo, podem vir a serem consideradas boas soluções para atender, por exemplo, a um campus, cidades, e interligar ou fornecer conexão à Internet em empresas.

De acordo com Farias (2006), existem três principais tipos de protocolo de roteamento em redes mesh: proativo, reativos e híbridos. Protocolos proativos exigem que todos os nós da rede mantenham a rota de todos os destinos possíveis, de modo que, quando houver necessidade do envio de um pacote de dados, a rota seja conhecida para ser usada imediatamente. Tais protocolos realizam a atualização de suas tabelas de roteamento por meio de uma contínua troca de mensagens. Exemplos de protocolo proativo são: *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV), *Optimized Link State Routing* (OLSR), *Wireless Routing Protocol* (WRP) e *Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking* (B.A.T.M.A.N.).

Já os protocolos reativos funcionam de forma contrária. Os nós descobrem seus destinos sob-demanda, ou seja, não necessitam de uma rota pré-estabelecida para os destinos até que seja necessário enviar pacotes de dados. Buscam utilizar certos recursos de forma eficiente, tais como energia e largura de banda. Exemplos de protocolos reativos são: *Dynamic Source Routing* (DSR), *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV), *Temporally-Ordered Routing Algorithm* (TORA).

Por fim, os protocolos híbridos procuram utilizar, de forma conveniente, as abordagens vistas anteriormente. Somente uma parte dos nós de uma rede híbrida

realizará atualizações periódicas, buscando informações de possíveis nós destinos. O *Fisheye State Routing* (FSR) é um exemplo de protocolo híbrido.

Originalmente este trabalho se propôs a realizar testes com *Voice over Internet Protocol* (VoIP) e verificar a mobilidade dos nós em uma rede mesh. Não foram utilizados programas dedicados a realizar chamadas VoIP devido a ferramenta de análise de desempenho utilizada possuir uma métrica que influencia ativamente no tráfego multimídia. E como não foi encontrada uma forma ideal de comparar diretamente os dois protocolos quanto a mobilidade dos nós dentro da rede, optou-se por elaborar resultados somente com o auxílio da ferramenta supracitada.

A realização deste projeto focou na utilização dos protocolos OLSR e B.A.T.M.A.N.-Adv. OLSR foi escolhido por ser um protocolo bastante divulgado e que possui acesso facilitado no que tange a documentação de suas características e funcionamento. O protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv surgiu com o intuito de se firmar como uma alternativa ao OLSR, buscando, inclusive, refinar a forma como uma rede mesh opera.

Busca-se, por meio do estudo comparativo entre os protocolos, verificar seu desempenho em determinadas situações, com o intuito de observar quais características se sobressaem em cada caso.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A presente pesquisa está estruturada em sete capítulos da seguinte maneira:

O capítulo 1 apresenta a introdução, objetivo geral do trabalho, os objetivos específicos e justificativa do trabalho.

O propósito e importância das redes de computadores para troca e comportamento de informações, com foco em redes sem fio, é apresentado no capítulo 2. É realizado um estudo sobre características como ondas, frequência, modulação e padrões. Adicionalmente, é descrito o funcionamento de redes mesh, englobando suas características e funcionamento dos protocolos de roteamento.

A abordagem referente ao funcionamento do protocolo *Optimized State Link Routing*, englobando a estrutura dos pacotes deste protocolo, bem como a forma de roteamento, é realizada durante o capítulo 3.

O protocolo conhecido como *Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking* é introduzido, juntamente com a estrutura de seus pacotes e roteamento, no capítulo 4.

O capítulo 5 apresenta alguns estudos e trabalhos realizados sobre redes mesh.

A implantação e coleta de dados das redes mesh é disponibilizada no capítulo 6.

Concluindo a pesquisa, serão mostradas as referências que foram utilizadas para realizar a mesma.

## 2 REDES DE COMPUTADORES

O século XX foi, no campo da aquisição, processamento e distribuição de informações, onde houve as principais conquistas tecnológicas. Diversas áreas cresceram de forma impressionante, entre elas: telefonia, rádio, televisão e informática. Estas áreas convergem cada vez mais numa distância menor entre a coleta, transporte, armazenamento e processamento de informações. Por exemplo, uma empresa pode facilmente obter informações cruciais de suas filiais, ainda que estejam separadas por uma grande distância. Nossa capacidade de administrar informações está intimamente ligada com formas ainda mais sofisticadas para as processar (TANEMBAUM, 2011, tradução nossa).

De acordo com Forouzan (2006), o conjunto de dispositivos conectados por links de comunicação é o que conhecemos por rede. Os dispositivos que compõem uma rede são frequentemente denominados nós, sendo que, qualquer dispositivo que esteja apto a enviar ou receber dados gerados na rede é considerado um nó. Uma rede pode ter tamanho, modelo e formas variadas. Para Tanenbaum (2011, tradução nossa), as conexões não são necessariamente compostas por cabos; existem as fibras ópticas, infravermelho, satélites de comunicação, entre outros.

### 2.1 REDES SEM FIO

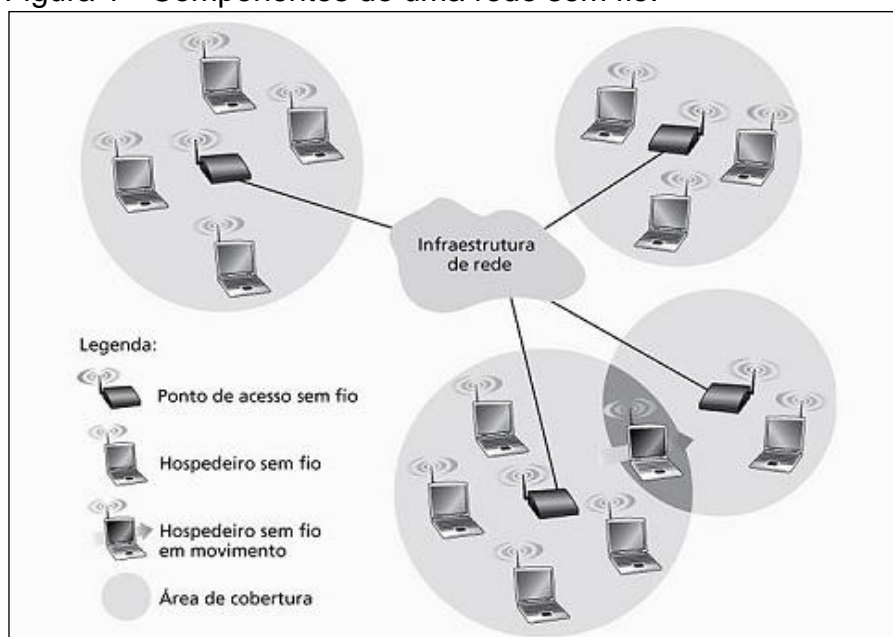
Segundo Tanenbaum (2003), a comunicação sem utilização de cabeamento é uma ideia antiga. O físico italiano Guglielmo Marconi, em 1901, demonstrou o funcionamento de um telégrafo sem fio, que transmitia informações de um navio para o litoral utilizando código morse (pontos e traços são binários). Os sistemas digitais atuais, apesar de possuírem um melhor desempenho, partem da mesma lógica. E ainda é interessante notar que, em algum momento, praticamente qualquer rede sem fio irá se conectar de alguma forma variada a uma rede com fio, seja para realizar acesso a arquivos, banco de dados ou à Internet.

Para garantir a compatibilidade entre os mais variados equipamentos e fabricantes, o comitê do IEEE elaborou um padrão para as LANs sem fios. Esse padrão foi denominado 802.11.

De acordo com Kurose e Ross (2009), analisando de forma geral, os seguintes componentes podem ser identificados em uma rede sem fio, como mostrado na figura 1:

- a) **Hospedeiros sem fio:** da mesma forma que em redes cabeadas, os hospedeiros são os equipamentos responsáveis pela execução de aplicações, podendo ser móvel ou não. Exemplos conhecidos de hospedeiros sem fio são: laptops, smartphones e notebooks;
- b) **Enlaces sem fio:** utilizado para que os hospedeiros possam se conectar a uma estação-base ou a um outro hospedeiro. É possível notar duas características fundamentais dos padrões de enlace mais populares na figura 1: área de cobertura e taxa de enlace.

Figura 1 - Componentes de uma rede sem fio.



Fonte: Kurose e Ross (2009).

- c) **Estação-base:** parte essencial para o funcionamento de uma rede sem fio. A estação-base é a responsável pela comunicação entre os hospedeiros associados, realizando envio e recebimento de dados. De forma genérica, é afirmado que os hospedeiros associados a uma estação-base operam em modo de infraestrutura. Sendo assim, todo serviço da rede é fornecido pela rede na qual se encontra conectado por meio da estação-base. É denominado transferência (*handoff*), o

deslocamento de um hospedeiro que venha a culminar na troca do seu ponto de conexão por uma rede maior.

Redes sem fio, ao serem analisadas em um nível mais elevado, podem ser definidas pela presença, ou não, de uma estação base. Na presença de uma estação-base (chamada de ponto de acesso no padrão 802.11), a comunicação com os hospedeiros é realizada com um único salto. Na ausência de uma estação-base, os computadores são capazes de realizar a comunicação entre si, formando uma rede de acesso *ad hoc* (KUROSE e ROSS, 2009).

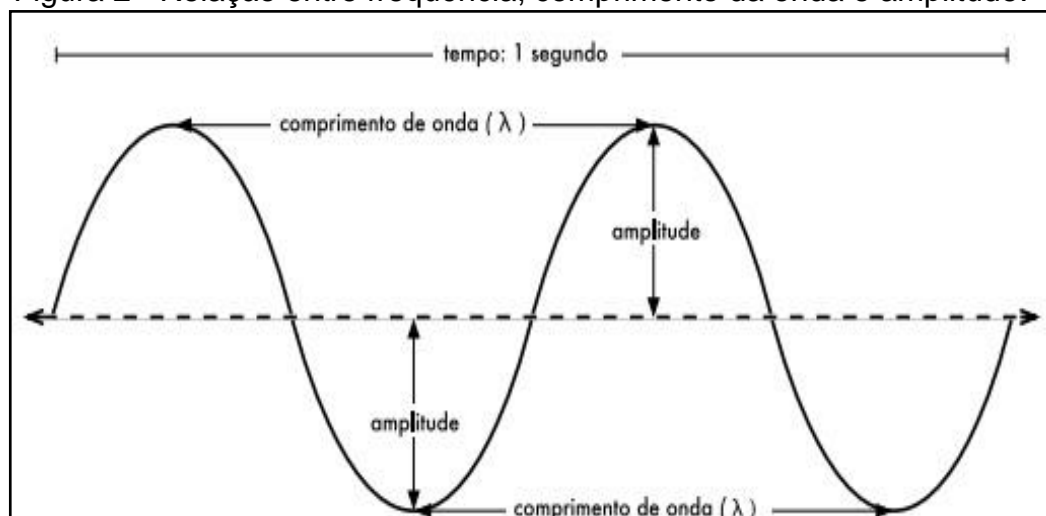
### 2.1.1 Onda e Frequência

Vibrações e oscilações que se propagam no espaço são denominadas ondas. Ondas possuem determinada velocidade, frequência, e comprimento de onda. Todas estas propriedades são interconectadas por uma simples relação (REDES..., 2008):

$$\textit{Velocidade} = \textit{Frequência} \times \textit{Comprimento de Onda}$$

O comprimento da onda é a distância mensurada entre um ponto da onda até a próxima parte equivalente na próxima onda (também chamada de lambda,  $\lambda$ ). O número de ondas completas que passam por um ponto fixo durante determinado intervalo de tempo denomina-se frequência. Mede-se a velocidade em metros por segundo, a frequência em ciclos por segundo (Hertz, abreviado como Hz), e o comprimento das ondas é mensurado em metros. As ondas ainda possuem uma propriedade chamada amplitude, que é melhor visualizada na figura 2, juntamente com as demais características de uma onda (REDES..., 2008).

Figura 2 - Relação entre frequência, comprimento da onda e amplitude.



Fonte: Redes sem fio no mundo em Desenvolvimento (2008).

Existem algumas regras básicas que se mostram eficientes na prática, no que diz respeito ao comprimento de ondas (REDES..., 2008):

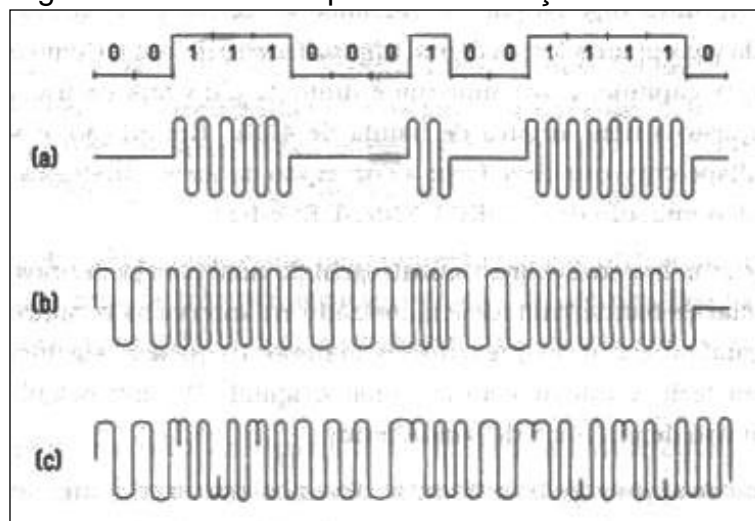
- a) Um maior comprimento de onda proporciona um maior alcance;
- b) Um maior comprimento de onda facilita sua passagem pelo meio físico;
- c) Um menor comprimento de onda transporta uma maior quantidade de dados.

### 2.1.2 Modulação

Quando uma ou mais características de uma onda portadora são modificadas de acordo com a informação do sinal da mensagem, ocorre um processo denominado modulação. Dentro deste contexto, o portador da informação (mensagem) é chamado de sinal modulante, e o sinal resultante da modulação, sinal modulado. Tais sinais são trabalhados pelo modulador e demodulador (DANTAS, 2002).

Segundo Dantas (2002), existem três formas genéricas de modulação: por amplitude (AM), por frequência (FM) e por fase (PM). É possível observar a forma com que alteram a onda na figura 3:

Figura 3 - Diferentes tipos de modulação.



Fonte: Dantas (2002).

Analisando a figura 3, verifica-se que, no caso da modulação AM (a), ocorre uma modificação na onda portadora em termos de amplitude. No caso da modulação FM (b), de acordo com o sinal recebido (0 ou 1), a frequência da onda passa por alterações. Já na modulação por fase (c), é possível observar que, de acordo com os conjuntos de sinais transmitidos, uma fase diferente é gerada.

Tais técnicas básicas funcionam adequadamente, se tratando de sinais analógicos. No entanto, para transmitir um único bit, é necessário ao menos um ciclo de onda. Com o intuito de incrementar a quantidade de bits transmitidos em um intervalo de tempo ao transmitir sinais digitais, costuma-se utilizar técnicas capazes de quantificar uma maior quantidade de bits em um determinado intervalo de tempo. Duas destas técnicas de modulação são: *Frequency Shift Keying* (FSK) e *Phase Shift Keying* (PSK). Cada uma altera a onda de uma forma diferente. FSK emprega frequências diferentes para transmissão de 0s e 1s, enquanto PSK utiliza fases diferentes para transmissão de 0s e 1s (DANTAS, 2002).

Com base em Haykin e Moher (2008), existem três vantagens práticas que são resultantes do processo de modulação nos sistemas de comunicação sem fio:

- a) Utiliza-se modulação para efetuar o deslocamento do espectro de frequência de determinado sinal de mensagem, permitindo situá-lo dentro da banda de frequências de operação de um canal de comunicação *wireless*;

- b) É por meio da modulação que se torna possível inserir a informação contida em um sinal mensagem em uma forma menos vulnerável à interferência ou ruído;
- c) A modulação permite a utilização de técnicas de múltiplo acesso.

### **2.1.3 Largura de Banda**

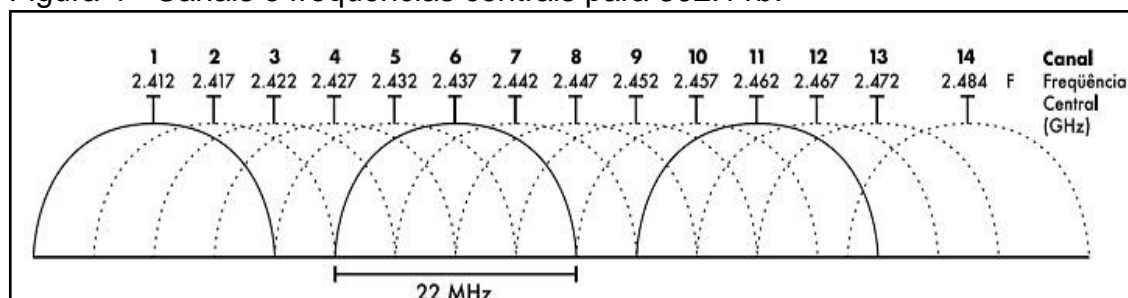
A largura de banda pode ser calculada observando a variação de frequência de um determinado dispositivo. Caso a variação seja entre 2.40 e 2.48 GHz, a largura de banda será de 0,08 GHz (800 MHz). Quanto maior a largura de banda, maior poderá ser a taxa de transmissão dentro dele, representada por *bits* por segundo.

A transmissão está intimamente ligada as limitações físicas impostas pelo meio. Em qualquer sistema de comunicação, independente da forma como o sinal será transportado, a largura de banda não será infinita por consequência das características do meio físico (DANTAS, 2002). Tanenbaum (2003) esclarece que “a largura de banda é uma propriedade física do meio de transmissão, e em geral, depende da construção, da espessura e do comprimento do meio”.

### **2.1.4 Canais**

Aparelhos de comunicação sem fio que desejam operar na mesma rede devem estar configurados para operação em um mesmo canal. No padrão 802.11b, cada canal possui 22 MHz de largura de banda e portadoras de 1 MHz. Como pode ser observado na figura 4, o canal 6 opera de 2.427 MHz a 2.447 MHz (2.437 MHz  $\pm$  11 MHz).

Figura 4 - Canais e frequências centrais para 802.11b.



Fonte: Redes sem fio no mundo em Desenvolvimento (2008).

### 2.1.5 Padronização

O surgimento dos notebooks permitiu que as pessoas passassem a sonhar com o dia em que poderiam se conectar com a Internet sem a utilização de fios. Com isso, vários grupos passaram a buscar formas de realizar esse objetivo, culminando na comercialização de equipamentos de LANs sem fios por várias empresas. O problema passou a ser encontrar LANs sem fio que fossem compatíveis entre si (TANEMBAUM, 2003).

Dessa forma, a indústria chegou ao consenso que seria vantajoso padronizar as LANs sem fio, tarefa realizada pelo comitê IEEE e que deu origem ao padrão 802.11 (TANEMBAUM, 2003).

Ao analisar especificamente o padrão 802.11, percebe-se que surgiram diversas alterações no que tange a velocidade, taxa de frequência, modulação, alcance e segurança (KUROSE; ROSS, 2009).

Essas alterações surgiram durante o desenvolvimento do padrão 802.11, em que o grupo de trabalho responsável encontrou a necessidade de formar grupos individuais com o objetivo de desenvolver diferentes aspectos do padrão 802.11. Cada grupo de trabalho passou a ser definido por meio de um sufixo (exemplo: grupo de trabalho 802.11a), e devido a essa série de eventos, surgiram as mais variadas designações que veremos a seguir (REYNOLDS, 2003, tradução nossa):

- a) **802.11**: especificação original das LANs sem fio e prevê taxas de transmissão de 1 Mbps e 2 Mbps suportando os mesmos protocolos das redes com fio (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- b) **802.11a**: o padrão 802.11a suporta taxas de transmissão que variam de 6 Mbps a 54 Mbps e opera na frequência de 5 GHz (5.15-5.25 GHz,

5.25-5.35 GHz, 5.725-5.825 GHz) (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);

- c) **802.11b**: opera na frequência de 2.4 GHz em conjunto com a modulação *High Rate Direct Sequencing Spread Spectrum* (DSSS), possibilitando taxas de transmissão de 5.5 Mbps e 11 Mbps (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- d) **802.11g**: busca maiores taxas de transmissão e alcance teórico que o padrão 802.11b, enquanto ainda opera na faixa de 2.4 GHz. Optou-se pelo uso de modulação OFDM, o que resultou em um aumento no alcance. No entanto, buscando retrocompatibilidade com 802.11b, também é suportada a modulação *Complementary Code Keying* (CCK), que é comum a ambos (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- e) **802.11c**: nunca foi publicado devido a falta de informações para utilização de conexões em modo ponte (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- f) **802.11d**: definiu especificações na camada física que visam estar de acordo com padrões internacionais, permitindo modificar características como potência do sinal e taxa de transmissão em relação a legislação vigente no país de uso (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- g) **802.11e**: foi possível trazer *Quality of Service* (QOS) para as redes sem fio, sendo então possível otimizar a transmissão de dados, áudio e vídeo (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- h) **802.11f**: não é exatamente uma especificação, mas sim uma recomendação desenvolvida com o objetivo de efetuar a comunicação entre pontos de acessos de diferentes fornecedores (GANZ; GANZ; WONGTHAVARAWAT, 2003, tradução nossa);
- i) **802.11h**: é basicamente um 802.11a com controle de espectro. Foi criado para atender aos requerimentos dos órgãos reguladores europeus, fornecendo um melhor controle sobre potência de transmissão e faixa de transmissão (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- j) **802.11i**: buscou melhorias na área de segurança, definindo sistemas de criptografia conhecidos por *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP) e

*Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol (CCMP)* (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);

- k) **802.11j**: foi desenvolvido com o objetivo de atender as faixas de frequência de 4.9GHz – 5 GHz de acordo com as normas de operação utilizadas no Japão (GANZ; GANZ; WONGTHAVARAWAT, 2003, tradução nossa);
- l) **802.11k**: com a ideia de fortalecer o padrão 802.11e, o padrão 802.11k propôs métodos que possibilitam a troca de informações detalhadas do link comunicação entre estações e clientes (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- m) **802.11l**: devido a facilidade de confundir a letra “l” com o número “1”, o IEEE optou por pular tal especificação (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- n) **802.11m**: busca e corrige quaisquer erros nas especificações das demais emendas do 802.11 (REYNOLDS, 2003, tradução nossa);
- o) **802.11n**: projetado para uma maior taxa de transmissão de dados, é capaz de atingir 150, 350 e 600 Mbps além de manter compatibilidade com os padrões 802.11a/b/g (CHANDRA, 2009, tradução nossa);
- p) **802.11p**: designado para operar na faixa de 5.9 GHz, foi desenvolvido para utilização em veículos, sendo capaz de realizar a comunicação entre dois veículos ou entre um veículo e um ponto fixo na estrada (CHANDRA, 2009, tradução nossa);
- q) **802.11r**: visa melhor funcionamento de serviços sensíveis a *delay* (atraso), como VoIP;
- r) **802.11s**: criado para auxiliar a estabelecer especificações para redes de múltiplos saltos e autoconfiguráveis. *Airtime link metric* é a métrica recomendável para utilização (MISRA; MISRA; WOUNGANG, 2009, tradução nossa);
- s) **802.11T (cancelado)**: determinou práticas para métodos de medição, métricas de performance e procedimentos de testes que avaliam o desempenho de equipamentos e redes 802.11. O “T” maiúsculo é uma prática recomendada, não uma norma técnica (CHANDRA, 2009, tradução nossa);

- t) **802.11u**: possui o intuito de prover uma abordagem genérica e padronizada das camadas física e de *Media Access Control* (MAC) para comunicação com redes não 802.11, como Bluetooth e *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) (CHANDRA, 2009, tradução nossa);
- u) **802.11v**: melhorias que aumentaram a taxa de transferência, reduziram interferência e aumentaram a confiabilidade por meio de gerenciamento da rede (CHANDRA, 2009, tradução nossa);
- v) **802.11w**: estender a segurança para os *frames* (quadros) de gerenciamento e dados.

Atualmente o padrão mais difundido comercialmente é o 802.11n, cujo objetivo foi permitir taxas de transmissão de ao menos 100Mbps. Os canais passaram de 20 MHz para 40MHz. Ao permitir que um grupo de quadros fossem enviados simultaneamente, reduziu-se o *overhead*. Este padrão também implementa a utilização de até quatro antenas para transmissão e, embora o seu uso possa causar interferência no receptor, o uso de técnicas de comunicação *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) permite que os sinais sejam separados (TANEMBAUM, 2011, tradução nossa).

### **2.1.6 *Media Access Protocol* no 802.11**

Ao se associar com um *Access Point* (AP), a estação sem fio pode enviar e receber quadros de dados de, e para, o ponto de acesso. A partir do momento que várias estações começam a transmitir e receber dados sobre um mesmo canal, é necessário utilizar um protocolo de acesso múltiplo que coordene as transmissões.

Os projetistas do padrão 802.11 optaram pela utilização de um protocolo chamado de *Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance* (CSMA/CA) ao invés de *Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection* (CSMA/CD) presente em redes *Ethernet* (KUROSE; ROSS, 2006).

No entendimento de Reynolds (2003, tradução nossa), esta decisão foi tomada devido ao fato que CSMA/CD poderia requerer que os transmissores sem fio fossem capazes de enviar e receber dados ao mesmo tempo. Isso iria não somente encarecer o preço e a complexidade dos produtos, mas também foi levado em consideração que em um ambiente de rede sem fio, os dispositivos nem sempre

estão em um local em que possa escutar todos os outros componentes da rede.

Segundo Kurose e Ross (2006), por não utilizar detecção de colisão, assim que determinada estação começa a transmitir um quadro, ele é transmitido integralmente. Logo, grandes probabilidades de colisão podem comprometer o desempenho do protocolo CSMA/CA, que por esse motivo utiliza múltiplas técnicas para prevenção de colisões.

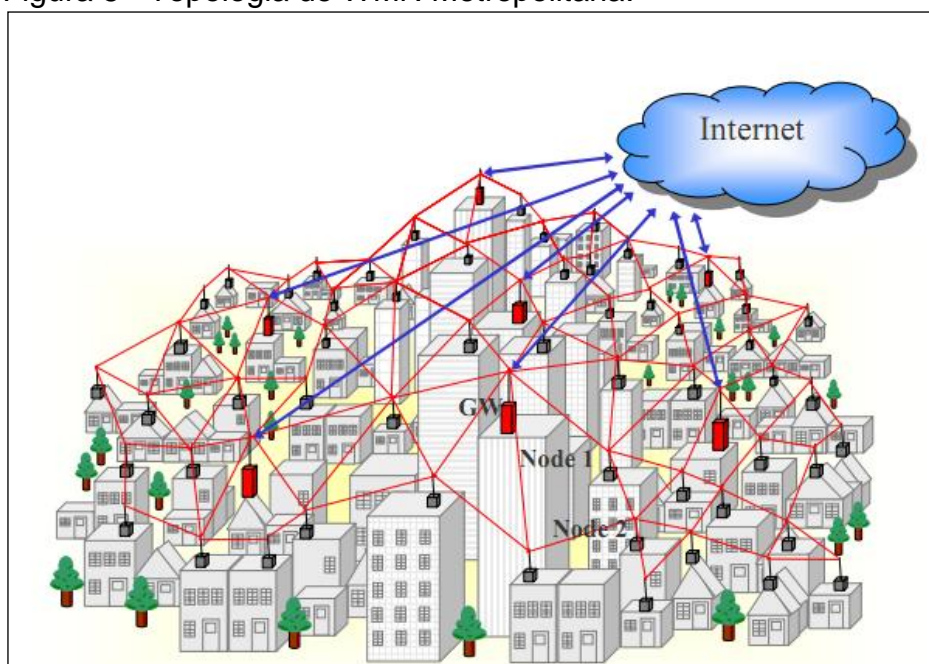
## 2.2 REDES MESH

Redes mesh são sistemas recentes de interligação auto organizáveis e auto configuráveis. Cada nó é capaz de estabelecer conexão e se empenha em manter a rede sempre ativa (AKYILDIZ; WANG, 2005).

As redes mesh são caracterizadas por seus principais nós possuírem uma localização fixa. Porém, podem existir nós sem uma localização predeterminada, diferenciando-se de redes *ad hoc* tradicionais. Há algumas características que tornam redes Mesh mais vantajosas, como por exemplo, a possibilidade de se utilizar caminhos alternativos, maior robustez, diminuição da potência dos nós e redução da necessidade de *Line of Sight* (LOS) (LUIZ; PRZYBYSZ, 2007).

Uma outra vantagem é seu baixo custo de implantação, visto que os pontos de acesso já estabelecem conexões sem fio entre si, eliminando parte da infraestrutura cabeada. É possível implementar redes Mesh capazes de cobrir grandes áreas, provendo acesso contínuo e tolerante a falhas. Conforme a necessidade, é possível alterar sua topologia sem gastos significativos (AKYILDIZ; WANG, 2005). Há inúmeros usos práticos, como computação móvel em áreas remotas, situações de desastre, redes temporárias e cidades digitais (exemplo observado na figura 5) (ALBUQUERQUE et al., 2006).

Figura 5 - Topologia de WMN Metropolitana.



Fonte: Jun e Sichertiu (2003).

### 2.2.1 Arquitetura

Redes mesh são constituídas basicamente por dois tipos de nós: roteadores mesh e cliente mesh.

Em relação a roteadores comuns, os roteadores mesh carregam protocolos designados a suportar uma maior flexibilidade e escalabilidade, características inerentes de redes mesh. Além disso, possuem mobilidade praticamente nula e formam, em muitos casos, o *backbone* e malha de autocorreção e autoconfiguração da rede para os clientes.

Em comparação a roteadores convencionais, roteadores mesh são capazes de operar com a mesma intensidade de sinal a uma força de transmissão mais baixa, funcionando com baixo consumo de energia. Isso se torna possível pela utilização de saltos de comunicação denominados *multi-hop*, tornando possível evitar caminhos desnecessários durante o roteamento (AKYILDIZ; WANG, 2005).

Os clientes mesh são capazes de acessar a rede por meio de roteadores mesh ou mesmo outros clientes, porém, apesar de possuírem função de roteamento, não podem atuar como *gateway* e *bridge*. Entrementes, possuem apenas uma interface de rede e um hardware simplificado (AKYILDIZ; WANG, 2005).

Baseado na funcionalidade dos nós que constituem a rede mesh, é possível encontrar até três tipos de arquiteturas, abordadas nas subseções decorrentes.

#### **2.2.1.1 Infraestruturada**

Na arquitetura infraestruturada, os roteadores buscam montar uma estrutura com o objetivo de atender os clientes. São capazes de fornecer serviços de Internet, atuando como *gateways* e interligar diferentes redes com diferentes tecnologias de transmissão. É o tipo de rede mesh mais utilizada, pois, a única modificação necessária está nos roteadores que habitualmente utilizam duas antenas com canais distintos, uma com função de *backbone*, e outra para atender os clientes (AKYILDIZ; WANG, 2005).

#### **2.2.1.2 Cliente**

Nessa arquitetura, os clientes formam redes ponto a ponto com funções de roteamento e auto configuração. Para Akyildiz e Wang (2005), por os roteadores mesh não serem utilizados nesse contexto, a estrutura resultante é bastante similar a de uma rede *ad hoc*, tendo como única diferença a utilização de uma única tecnologia de transmissão.

#### **2.2.1.3 Híbrida**

Como o próprio nome sugere, a arquitetura híbrida possui características tanto da arquitetura infraestruturada quanto da cliente. Essa combinação melhora a interoperabilidade e conectividade na rede, suportando redes *ad hoc*, e possuem roteadores capazes de operar com funções de roteamento, autoconfiguração e autocorreção em multi-saltos (AKYILDIZ; WANG, 2005).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

Protocolos de roteamento tem como principal objetivo selecionar as rotas entre o nó principal e nó de destino. Tarefa esta que necessita ser realizada de forma rápida e com o mínimo de *overhead*. E, sobretudo, caso o caminho exista, deverá ser calculado (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa).

De uma forma geral, os protocolos podem ser separados em dois grupos: *Unicast* ou *Multicast*.

### 2.3.1 Protocolos de Roteamento *Unicast*

Protocolos *unicast* enviam mensagens para um único nó da rede e podem ser divididos em três tipos distintos: reativos, proativos e híbridos.

Os protocolos reativos calculam uma nova rota somente quando existe a necessidade. Muito embora essa medida diminua a quantidade de *overhead* na rede, apresenta um atraso em relação ao envio do primeiro pacote transmitido devido ao tempo dispendido na construção da rota (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa).

Nos protocolos proativos, todo nó da rede conhece uma rota para cada um dos demais nós presentes na rede. Sempre que um nó constatar que a topologia da rede sofreu alguma modificação, são disparadas atualizações para todos os nós que compõe a rede (LUIZ; PRZYBYSZ, 2007). Apesar desta medida não resultar em latência, a manutenção constante de rotas resulta em *overhead* (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa).

Protocolos de roteamento híbridos procuram combinar as vantagens tanto dos protocolos reativos quanto dos proativos: proativo é utilizado para nós próximos e rotas frequentemente utilizadas, enquanto o roteamento reativo é usado para nós distantes e rotas menos utilizadas (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa).

### 2.3.2 Protocolos de Roteamento *Multicast*

O processo de transmissão de pacotes para um grupo de usuários identificados por um único endereço é chamado de *multicasting*. Embora não sejam empregadas com frequência em redes mesh, as transmissões *multicast* são mais

vantajosas em ambientes com banda limitada, pois, a utilização de um pacote *multicast* poderá ser mais adequado em relação a vários pacotes *unicast* (ALBUQUERQUE et al. 2006).

Os protocolos *multicast* são classificados em duas categorias: *tree-based* e *mesh-based*.

Segundo Albuquerque et al. (2006), o protocolo *tree-based* possui uma única rota entre remetente e destinatário. É caracterizado por formar uma árvore *multicast* entre os membros de um grupo, sendo possível que alguns não membros também façam parte do conjunto. Assim que o remetente transmite um pacote de dados, cada nó da árvore irá receber um pacote do nó que está um nível acima e o encaminhará para os nós abaixo de seu nível.

No caso do protocolo *mesh-based*, existirão vários caminhos entre remetentes e destinatários. Por conseguinte, há uma maior robustez devido a existência de vários caminhos entre os nós. É criada uma malha que garante o enlace redundante entre os membros que compõe o grupo, mas consome mais recursos da rede (ALBUQUERQUE et al., 2006).

É importante ressaltar que segundo Hu, Luo e Zhang (2007, tradução nossa), um protocolo de roteamento otimizado deve englobar as seguintes características:

- a) **Tolerância a falhas:** redes mesh devem assegurar robustez contra quedas de comunicação. Analogamente falando, os protocolos de roteamento também devem estar aptos a redirecionar a rotas em caso de quedas de *link*;
- b) **Balanceamento de carga:** roteadores mesh são bons neste quesito por possuírem técnicas destinadas a optar pelos melhores caminhos para envio de dados;
- c) **Redução de *overhead* de roteamento:** conservar largura de banda é essencial para promover a sucesso e efetividade de qualquer rede sem fio. Portanto, é relevante buscar uma redução de *overhead*, principalmente os provocados por retransmissões;
- d) **Escalabilidade:** uma rede mesh é escalável e capaz de operar com centenas ou milhares de nós. Isso é possível por não existir dependência de um ponto de controle central, portanto, a adição de nós coletores de dados ou gateway é pertinente. Assumindo tal

perspectiva, constata-se a relevância do suporte a escalabilidade pelos protocolos de roteamento;

- e) **Suporte a *Quality of Service (QoS)***: oferecer suporte a QoS se tornou vital em redes mesh em razão da quantidade limitada de canais, influência a interferências, grande número de usuários conectados e surgimento de aplicações multimídia em tempo real.

Não obstante, ao longo dos anos, muitas pesquisas vem sendo desenvolvidas em torno de inúmeros protocolos de roteamento, concluindo-se que um mesmo protocolo é incapaz de se adaptar a todos os cenários e padrões (ALBUQUERQUE et al., 2006). Para Hu, Luo e Zhang (2007, tradução nossa), a escolha do protocolo adequado para cada situação dependerá do cenário de aplicação e da performance almejada.

O capítulo seguinte abordará o funcionamento e características do protocolo de roteamento OLSR.

### 3 PROTOCOLO *OPTIMIZED LINK STATE ROUTING* (OLSR)

OLSR foi desenvolvido pela *Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique* (INRIA) e foi padronizado na *Internet Engineering Task Force* (IETF) como *Experimental RFC 3626* (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa). É um protocolo de roteamento proativo que utiliza o algoritmo *link state*, onde cada roteador armazena informações da topologia de toda a rede e as rotas para todos os nós estão continuamente disponíveis, independente da presença de tráfego (MISRA, S.; MISRA S. C.; WOUNGANG, 2009, tradução nossa).

Utiliza como métrica o algoritmo *Shortest Path First* (SPF) baseado no número de saltos para calcular as rotas na rede. Contudo, o conceito fundamental do OLSR consiste em uma otimização do mecanismo de *broadcast* para distribuição de informações *link state* na rede (MISRA, S.; MISRA S. C.; WOUNGANG, 2009, tradução nossa).

#### 3.1 FUNCIONAMENTO

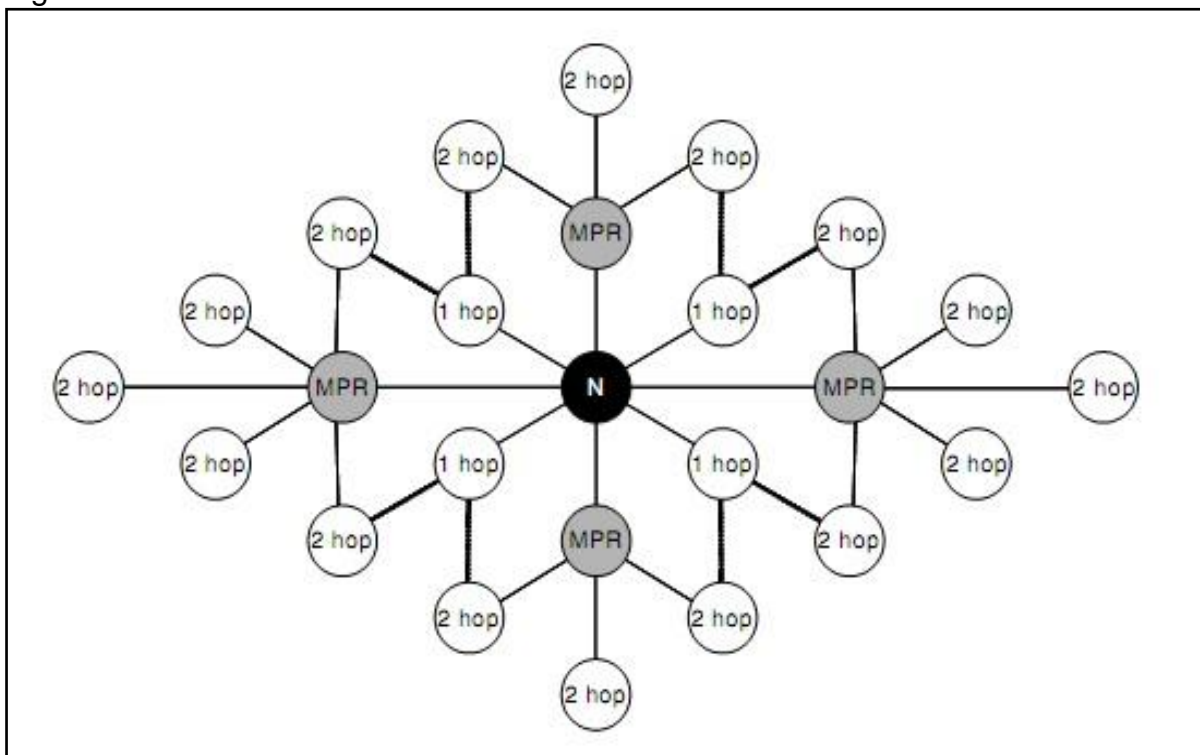
OLSR foi desenvolvido com base no conceito de *Multipoint Relay* (MPR) com o intuito de prover uma redução do *overhead* causado pela quantidade de pacotes de *broadcast* na rede. O funcionamento desta técnica é explanada a seguir:

Todos os nós da rede enviam periodicamente mensagens de HELLO contendo informações dos vizinhos afastados por um *hop* (salto) para obter informações sobre a topologia local. O campo *Time To Live* (TTL) destas mensagens são iguais a 1 (um), logo a mensagem não continuará sendo distribuída pela rede (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa).

Cada nó deverá determinar um conjunto de vizinhos que esteja a um salto de distância, de forma assimétrica (transmissão bidirecional) e que esteja apto a retransmitir mensagens. Esses nós são denominados MPR (figura 6). Essa escolha é baseada em informações provenientes da topologia da rede, especificadas nas mensagens de HELLO enviadas periodicamente (CLAUSEN; JACQUET, 2003, tradução nossa).

O protocolo se comunica utilizando o protocolo *User Datagram Protocol* (UDP), e a *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA) atribuiu a porta 698 como sendo exclusiva ao OLSR.

Figura 6 - Nós MPR em uma rede mesh OLSR.



Fonte: Hu, Luo e Zhang (2007).

Para Albuquerque et al. (2006), os papéis desempenhados pelos nós MPR são:

- a) Dentre todos os vizinhos de um nó seletor que transmite um pacote *broadcast*, somente um nó MPR poderá retransmitir o pacote;
- b) Por meio de técnicas de *flooding*, os nós MPR divulgam sua lista de seletores pela rede. Sendo assim, todos os nós da rede passam a saber por qual MPR um nó específico pode ser alcançado.

A utilização de MPR resulta em uma redução na quantidade de retransmissões de informações topológicas por *broadcast* e, conseqüentemente, diminui o tamanho dos pacotes de *broadcast* que trafegam na rede. Em relação a algoritmos *link state* convencionais, OLSR provê uma utilização mais inteligente da banda disponível.

Como as informações da topologia global são armazenadas e atualizadas a cada nó, a rota mais curta entre remetente e destinatário é calculada pelo algoritmo de *Dijkstra*.

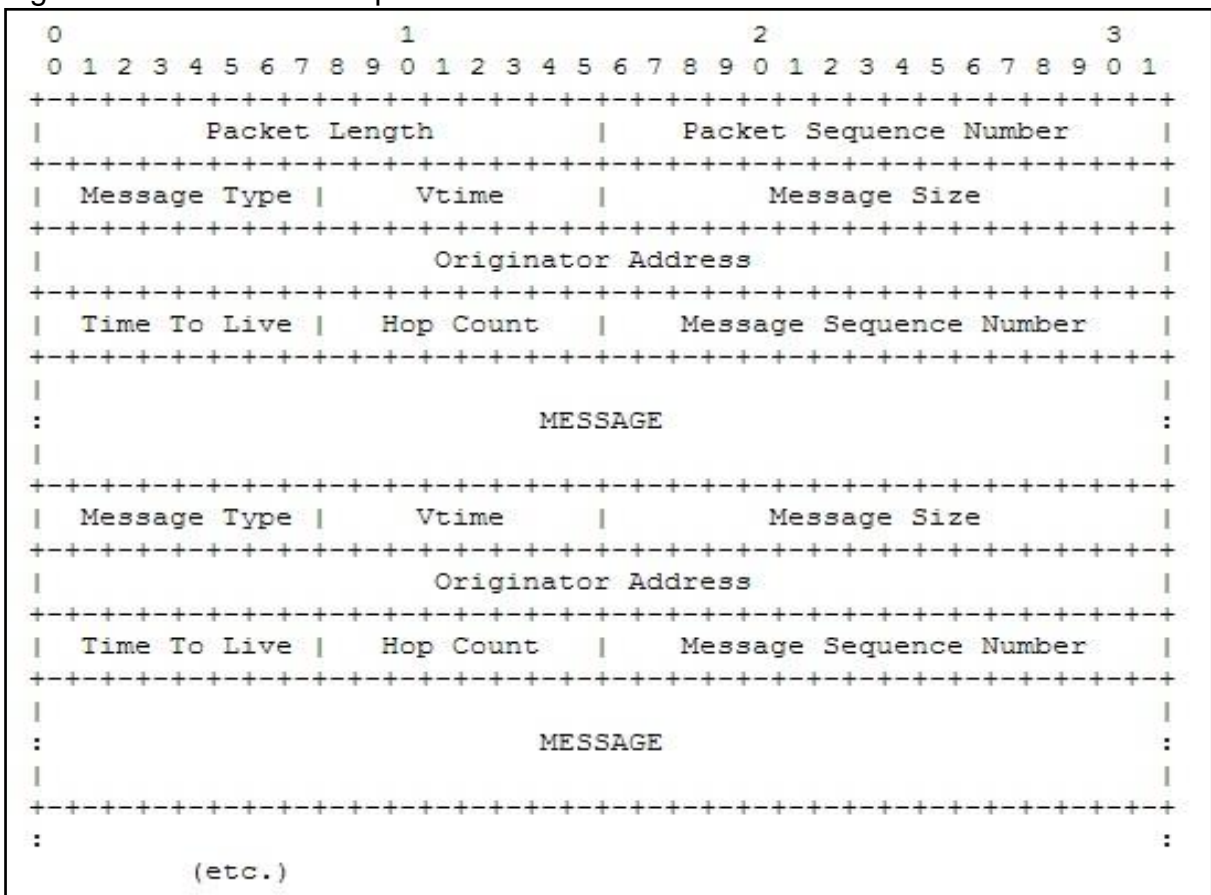
### 3.2 FORMATO DO PACOTE

O formato básico de um pacote OLSR, representado na figura 7 (IP e cabeçalho UDP foram omitidos), é composto por:

- a) **Packet header**: representa o comprimento do pacote em *bytes*;
- b) **Packet sequence number**: toda vez que um novo pacote OLSR é transmitido, este campo armazena um número sequencial que é incrementado a cada transmissão;
- c) **Message type**: indica o tipo de mensagem que será encontrado no campo “*MESSAGE*”. Tipos de mensagem que variem de 0 a 127 são reservados pelo protocolo;
- d) **Vtime**: campo responsável por indicar por quanto tempo, após o recebimento um nó, deverá considerar válida a informação contida na mensagem, exceto o caso de uma informação atualizada seja recebida. O cálculo desse tempo se dá por  $C \times (1 + a \div 16) \times 2^b$ , considerando que  $C$  é uma constante (1/6),  $a$  é representado pelos quatro maiores bits do campo *vtime* e  $b$  é representado pelos quatro menores;
- e) **Message size**: informa o tamanho da mensagem contado em *bytes*, medido no início do campo “*Message Type*”. Caso inexistam mensagens subsequentes [tirei uma vírgula] até o fim do pacote;
- f) **Originator address**: o endereço principal do nó que originou a mensagem é armazenado neste campo. Este campo não deve ser alterado em futuras retransmissões;
- g) **Time to live**: determina a quantidade de saltos que um pacote pode dar dentro da rede. A cada retransmissão, este campo é decrementado em 1 (um). Mensagens com TTL igual a 0 (zero) ou 1 (um) não serão retransmitidas. Portanto, o alcance de uma mensagem é delimitada por este campo;

- h) **Hop count**: o remetente da mensagem seta o valor deste campo para 0 (zero) e a cada retransmissão este valor é incrementado em 1 (um);
- i) **Message sequence number**: tem como propósito evitar que uma mensagem não seja retransmitida mais de uma vez por qualquer nó. Ao gerar uma mensagem, o nó de origem irá designar uma identificação única para cada mensagem. Este número é incrementado em 1 (um) para cada mensagem originada pelo nó;
- j) **Message**: contém a mensagem a ser enviada.

Figura 7 - Formato de um pacote OLSR.



Fonte: Clausen e Jacquet (2003).

### 3.3 MENSAGENS DO PROTOCOLO

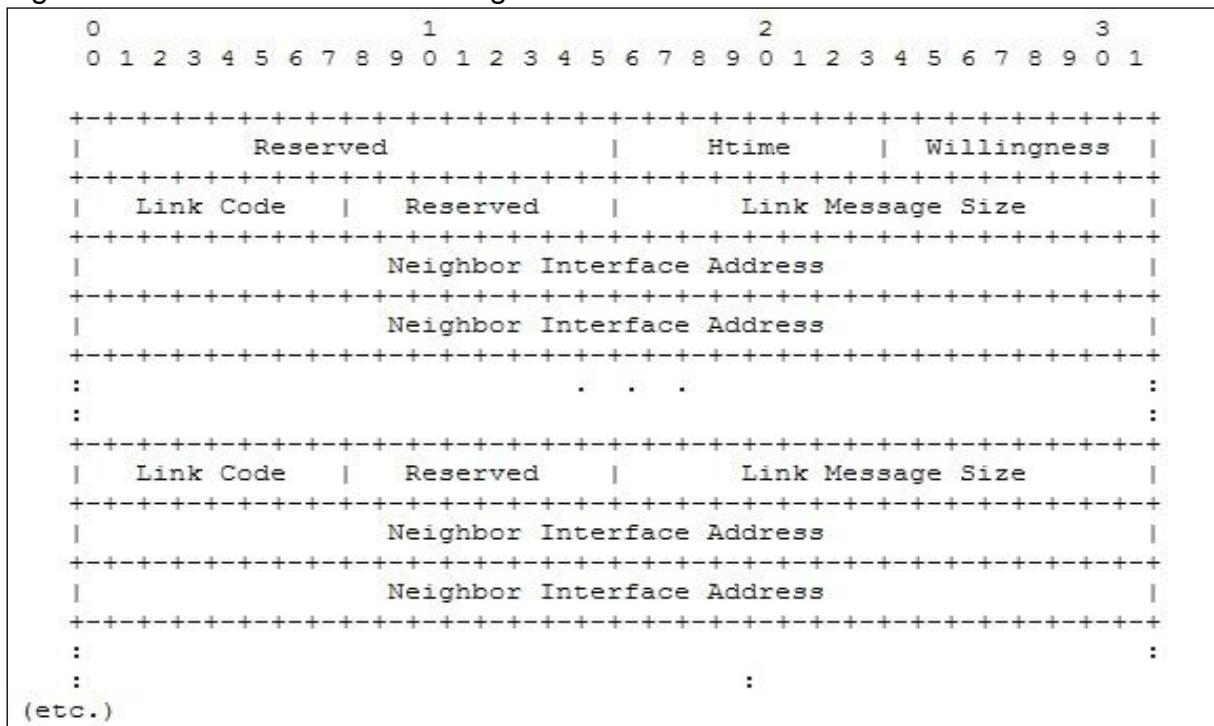
A descoberta de interfaces de rede, detecção da topologia da rede, controle da topologia ou ligação do protocolo OLSR à redes externas são efetuados pelas mensagens do protocolo.

### 3.3.1 Mensagens HELLO

De tempos em tempos, todo nó irá enviar mensagens HELLO para o restante da rede com informações dos seus vizinhos e *link states* correspondentes.

Um *link state* pode ser simétrico, assimétrico ou MPR. Como visto anteriormente, um *link state* MPR com um vizinho indica que este vizinho foi selecionado por este nó como um MPR. Mensagens HELLO são transmitidas somente para os vizinhos a um salto. Cada nó armazena uma tabela de vizinhos com informações sobre seus vizinhos a um salto. Um nó pode criar ou atualizar informações de seu vizinho de acordo com a mensagem HELLO recebida (HOSSAIN; LEUNG, 2009, tradução nossa). A figura 8 demonstra o formato padrão de uma mensagem HELLO.

Figura 8 - Formato de uma mensagem HELLO.



Fonte: Clausen e Jacquet (2003).

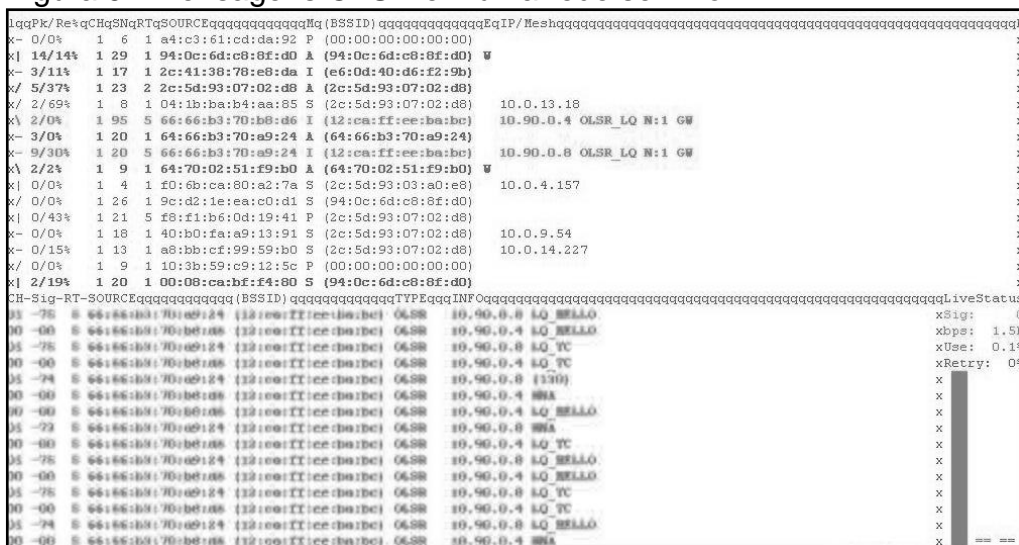
A seguir, de acordo com Clausen e Jacquet (2003, tradução nossa), é descrito os campos de uma mensagem HELLO:

- a) **Reserved**: para atender a especificação, este campo tem valor padrão "000000000000";

- b) **Htime**: define o intervalo de emissão de mensagens, sendo calculado por  $C \times (1 + a \div 16) \times 2^b$ ;
- c) **Willingness**: a disponibilidade de um nó em carregar e encaminhar tráfego para outros nós é especificado neste campo. Nós com o campo *willingness* WILL\_NEVER jamais serão selecionados como MPR por outros nós, WILL\_ALWAYS será sempre selecionado como um MPR. Os nós devem, por padrão, estar com este campo preenchido por WILL\_DEFAULT;
- d) **Link code**: determina informações sobre o link entre a interface do remetente e o nó vizinho. Também carrega informação sobre o status do vizinho;
- e) **Link message size**: portador do tamanho do *link* da mensagem em bytes, contando do início do primeiro “*Link Code*” até o próximo “*Link Code*”;
- f) **Neighbor interface address**: contém o endereço da interface de um vizinho.

Na figura 9, é possível visualizar as mensagens OLSR trafegando na rede ao utilizar a ferramenta de análise de redes sem fio, *Horst*.

Figura 9 - Mensagens OLSR em uma rede sem fio.



Fonte: Do autor.



A figura 11 descreve os campos de uma mensagem TC de acordo com Clausen e Jaquet (2003, tradução nossa):

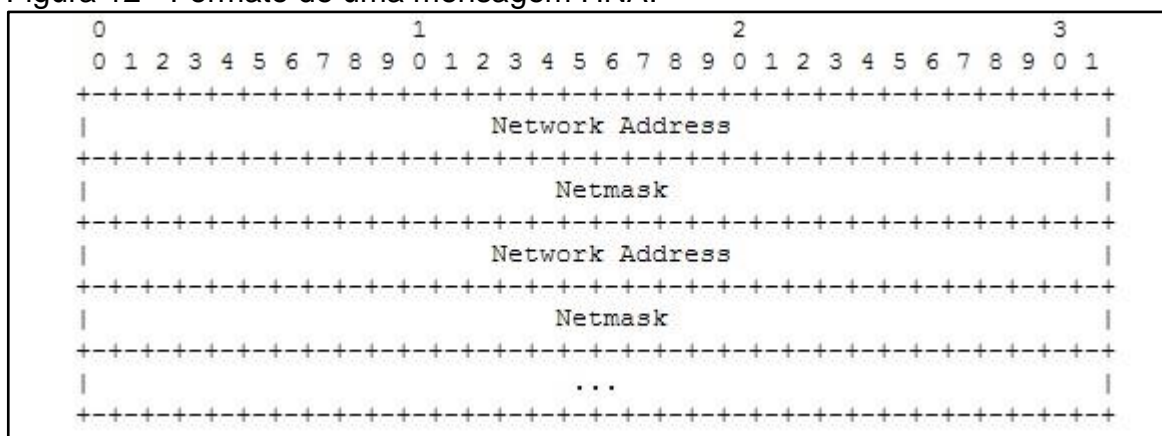
- a) **Advertised Neighbor Main Address (ANSN)**: guarda um número sequencial que será alterado sempre que um dos seus nós vizinhos sofre alguma alteração, possibilitando que os demais nós da rede saibam qual informação é mais recente;
- b) **Advertised Neighbor Main Address**: contém o endereço principal de um nó vizinho. Todos os principais endereços dos vizinhos do nó de origem são colocados na mensagem TC;
- c) **Reserved**: possui valor "0000000000000000" e é um campo reservado para manter conformidade com a especificação.

### 3.3.3 Mensagens HNA

Como um nó pode possuir mais de uma interface na rede, é por meio das mensagens *Host and Network Association* (HNA) que é possível efetuar a conexão com outras redes, incluso Internet. Uma mensagem HNA contém os campos descritos (figura 12) a seguir:

- a) **Network address**: endereço da rede interligada;
- b) **Netmask**: carrega a máscara de rede do endereço supracitado.

Figura 12 - Formato de uma mensagem HNA.



Fonte: Clausen e Jaquet (2003).

### 3.4 ROTEAMENTO

Em uma rede OLSR, todos os nós da rede possuem sua própria tabela de roteamento, possibilitando identificar os demais nós presentes. Se a topologia da rede apresentar alterações nos nós, um novo cálculo é feito para atualizar os nós da rede (CLAUSEN; JACQUET, 2003, tradução nossa).

A tabela de roteamento é recalculada em casos de surgimento, ou desaparecimento, de um vizinho. De acordo com Clausen e Jacquet (2003, tradução nossa), o procedimento de cálculo (ou recálculo) de uma tabela de roteamento é explanado a seguir:

- a) Todas as entradas da tabela de roteamento são removidas;
- b) As novas entradas são adicionadas começando com os vizinhos simétricos;
- c) Novas entradas são adicionadas para os vizinhos que estão a dois saltos de distância;
- d) São adicionadas as entradas referentes aos vizinhos que estão a uma distância maior que dois saltos;

O processo de população da tabela de roteamento terá fim quando chegar até o último nó da rede.

No capítulo seguinte, o protocolo B.A.T.M.A.N. será abordado juntamente com suas características e funcionamento.

## 4 BETTER APPROACH TO MOBILE ADHOC NETWORK (B.A.T.M.A.N.)

A primeira implementação do protocolo de roteamento B.A.T.M.A.N. chamava-se *batmand*, operando na camada 3 do modelo OSI por meio de alterações na tabela de roteamento. As ideias e conceitos gerados levaram ao surgimento de ramificações, onde algumas desapareceram e outras permaneceram em plena atividade. Como o termo B.A.T.M.A.N. acabou se tornando muito amplo, surgiram nomenclaturas para diferenciar os diferentes projetos originados (QUARTULLI, et al., tradução nossa).

Eis que em 2007 alguns desenvolvedores começaram a testar a ideia de rotear na camada 2 do modelo OSI ao invés da 3. Devido ao pouco conhecimento sobre o assunto na época, o primeiro protótipo desenvolvido operava no espaço do usuário utilizando um *daemon* na camada 2. O sufixo “-Adv” foi escolhido para indicar sua diferenciação em relação ao protocolo B.A.T.M.A.N. original. Na ocasião utilizava o protocolo de roteamento do batman 0.3, provendo uma interface de rede virtual capaz de transportar os pacotes de forma transparente (QUARTULLI, et al., tradução nossa).

Todavia, tal interface virtual resultou em um significativo *overhead* em *access points* de baixo custo, levando a uma reimplementação como módulo de *kernel*. Com a remoção do *daemon*, o termo “B.A.T.M.A.N.-Adv” passou a se referir somente ao módulo de *kernel*, fazendo parte oficialmente do *kernel* Linux desde a versão 2.6.38 (QUARTULLI, et al., tradução nossa).

Ao se tratar de funcionalidades, um dos diferenciais deste protocolo refere-se a descentralização da informação de roteamento, então nenhum nó possui rotas para todos os destinos da rede. Ao invés disso, todo nó possui uma direção geral e o destino para o melhor nó vizinho, o nó vizinho funciona da mesma forma, seguindo sucessivamente até encontrar o destino final (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN, 2011, tradução nossa).

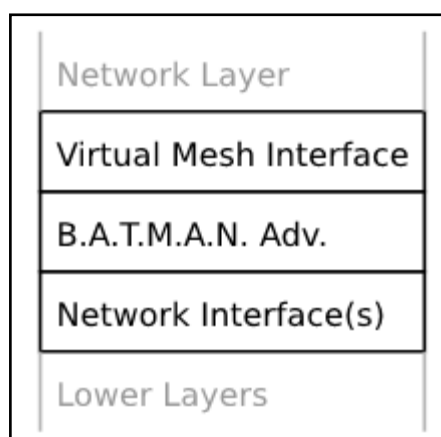
### 4.1 FUNCIONAMENTO

O protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv opera exclusivamente na camada 2. Trata-se de uma camada entre os *drivers* da interface de rede e uma interface de rede

virtual que é utilizada pelas aplicações para comunicação dentro de uma rede mesh (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN, 2011, tradução nossa).

Todos os nós que participam da rede são inseridos em uma rede virtual, onde o tráfego é encapsulado e encaminhado até chegar ao seu destino. Os nós não possuem informações sobre a topologia da rede e não são afetados por mudanças. Como pode-se observar na figura 13, os pacotes são entregues ao B.A.T.M.A.N.-Adv ou pela interface virtual mesh ou pela interface de rede. Assim que é verificado o destino do pacote, ele é reencaminhado para o melhor nó ou entregue na camada superior. Como é possível perceber, as camadas superiores à interface virtual não possuem informações sobre o B.A.T.M.A.N.-Adv ou da rede mesh (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN, 2011, tradução nossa).

Figura 13 - Estrutura do protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv em um nó.



Fonte: Hundebøll e Ledet-Pedersen (2011).

## 4.2 TIPOS DE PACOTE

Existem seis tipos de pacotes diferentes utilizados para descoberta da rede pelo protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN, 2011, tradução nossa). A seguir será apresentado cada um desses pacotes:

- a) **B.A.T.M.A.N.-Adv packet**: também conhecido como OGM, é o pacote primário do protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv. Sua função é descobrir nós e rotas na rede, e cada um dos nós cria e difunde um OGM num intervalo fixo de tempo.

Esses pacotes possuem a função de anunciar a presença do nó, a possibilidade de servir como próximo salto no envio de pacotes e medição da qualidade da rota. O pacote contém as seguintes informações sobre o nó originário e próximo nó:

- *Originator address*: identifica o nó que criou o pacote;
  - *Sequence number*: realiza a medição da qualidade do *link* e detecção de duplicatas;
  - *Transmit Quality (TQ)*: determina a qualidade da rota para o *originator*;
  - *Address of the previous sender*: é utilizado para descartar OGMs que já foram enviadas aos demais nós;
  - *Time to Live (TTL)*: restringe o número de nós que um OGM pode alcançar;
  - *Host Neighbour Announcement (HNA) count*: contém o número de nós *não-batman* que podem ser alcançados pelo *originator*;
  - *Gateway Flags*: é usado se um nó provê acesso a uma outra rede;
- b) **Internet control message packet**: estes pacotes são utilizados com o objetivo de suportar funções fornecidas pela versão IP de ICMP. Por operar na camada de ligação, os nós da rede nem sempre podem ser alcançados pelos seus endereços IP, sendo assim, B.A.T.M.A.N.-Adv pode tratar pedidos de ping, respostas e falhas;
- c) **Unicast packet**: encapsulam dados *unicast* das camadas superiores, possuindo endereço de destino e TTL, além dos dados reais a serem transmitidos;
- d) **Unicast packet fragmentation**: quando o comprimento dos pacotes *unicast* excedem a *maximum transmission unit* (MTU), os pacotes são fragmentados e agregados no destino. Estes pacotes possuem, adicionalmente, um campo sequencial e um campo referente à origem do pacote. Estes campos servem para identificar o fim da sequência;
- e) **Broadcast packet**: com a finalidade de enviar pacotes para toda a rede (e não somente a vizinhos que estejam no raio de alcance de um nó), são utilizados pacotes *broadcast*. Possuem número de sequência, endereço da origem e TTL para evitar duplicação de pacotes;

- f) **Visualization packets**: para obter informações necessárias para a visualização gráfica da rede, um servidor pode ser iniciado em um ou mais nós da rede.

### 4.3 DESCOBRIMENTO DE NÓS

Os nós de uma rede B.A.T.M.A.N.-Adv, ao receberem um pacote OGM, normalmente atualizam sua tabela de roteamento para retransmitir o pacote. Caso o pacote não seja perdido, todos os nós da rede irão receber o OGM (HUNDEBØLL, et al., 2012, tradução nossa).

O pacote contém o endereço do nó de origem de tal forma que o nó receptor consiga determinar se o nó de origem é alcançável e também qual será o próximo salto. Também contém o endereço do envio anterior e, caso o nó receptor também seja o que realizou o envio (*echo message*), o pacote não será enviado novamente. Caso o nó receptor seja um *originator*, o pacote também não será reenviado. Para prevenir *loops* infinitos, o campo TTL é atualizado a cada retransmissão (HUNDEBØLL, et al., 2012, tradução nossa).

### 4.4 DETERMINAÇÃO DA MELHOR ROTA

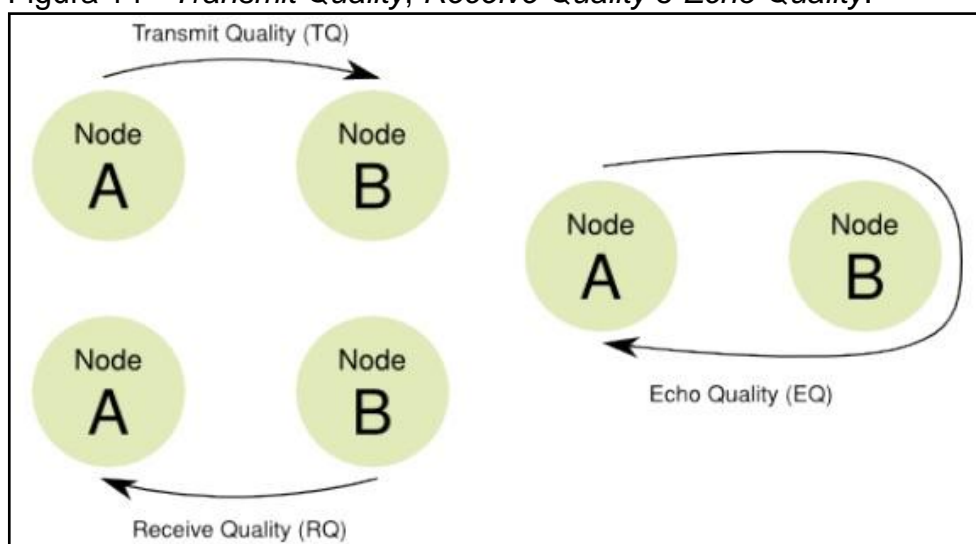
O protocolo é capaz de rotear pacotes de tal forma que cada nó seja capaz de escolher o melhor próximo salto para o destino. Para desempenhar essa função, cada pacote OGM contém um campo denominado *Transmit Quality* (TQ) que sinaliza a qualidade da rota entre origem e destino. Segundo Hundebøll et al. (2012, tradução nossa), o cálculo do TQ funciona da seguinte forma:

- a) Cada nó armazena um valor para *Receive Quality* (RC) e *Echo Quality* (EQ);
- b) *Receive Quality* é estimado a partir da última  $N$  (valor padrão: 128) mensagem OGM;
- c) *Echo Quality* é calculado de forma similar usando a porcentagem de OGMs gerados localmente e que são retornados pelo vizinho;
- d) Dado que *echo quality* fornece a probabilidade de um pacote ser enviado e recebido, considera-se como um produto de RQ e TQ

( $EQ = RQ \times TQ$ ). Portanto, o valor de *transmission quality* é  $TQ = EQ \div RQ$ .

*Transmit Quality* (TQ), *Receive Quality* (RQ) e *Echo Quality* (EQ) podem ser observados na figura 14.

Figura 14 - *Transmit Quality, Receive Quality e Echo Quality*.



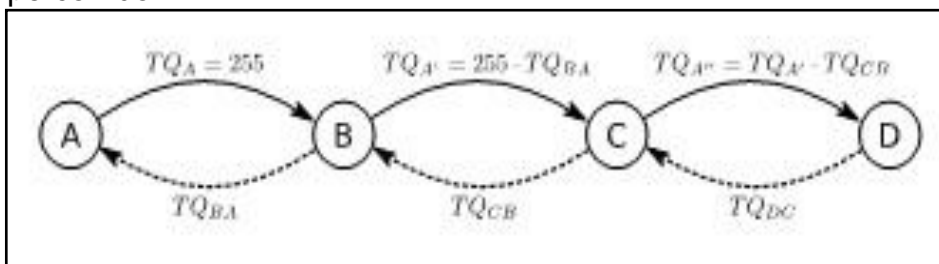
Fonte: Duran e Eduard (2009).

É importante ressaltar que, de acordo com Duran (2009), a versão anterior do algoritmo B.A.T.M.A.N. (B.A.T.M.A.N. III) possuía grandes problemas com *links* assimétricos. Por exemplo: em um *link* entre os nós A e B, enquanto o *link* entre A e B é perfeito, 95% dos pacotes de B para A são perdidos. Para solucionar este problema foi criado o algoritmo B.A.T.M.A.N. IV/TQ.

#### 4.5 PROPAGAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE QUALIDADE

Para que os nós de uma rede tenham conhecimento acerca do valor de TQ de um determinado nó, este valor é adicionado ao OGM. Conforme a figura 15, um OGM é gerado com um valor de 100% (255) e cada nó irá aplicar seu próprio TQ (local) antes de retransmitir.

Figura 15 - Valor de *Transmission Quality* (TQ) atualizado a cada nó percorrido.



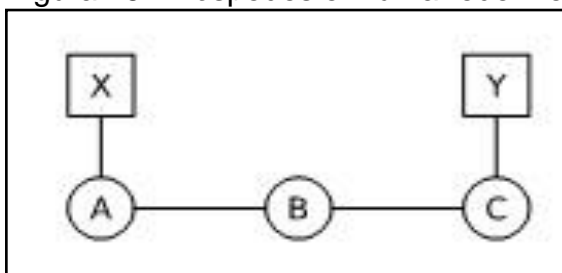
Fonte: Hundebøll e Ledet-Pedersen (2011).

#### 4.6 ANÚNCIO DE VIZINHOS

Como descrito na seção 4.2, os pacotes OGM carregam avisos sobre vizinhos (*Host Neighbour Announcements*) que podem ser alcançados por meio dos nós B.A.T.M.A.N.-Adv. Como tais vizinhos não possuem conhecimento sobre o protocolo de roteamento, o nó que está a seu alcance deve informar a presença destes vizinhos à rede. Isto é possível adicionando uma lista de endereços dos vizinhos conectados a cada OGM transmitido por um nó B.A.T.M.A.N.-Adv. Os demais nós da rede manterão uma lista desses vizinhos juntamente com o nó que está ao seu alcance (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN, 2011, tradução nossa).

Um cenário simples de se analisar está retratado na figura 16, onde o nó **A** conecta-se ao vizinho **X**, e o nó **C** conecta-se ao vizinho **Y**. Quando o nó **A** receber um pacote de **X** que deve ser entregue em **Y**, saberá que deverá transmitir para o nó **C** da rede mesh.

Figura 16 - Hóspedes em uma rede mesh.



Fonte: Hundebøll e Ledet-Pedersen (2011).

## 4.7 ENVIO DE PACOTES

De acordo com Hundebøll e Ledet-Pedersen (2011, tradução nossa), todo nó B.A.T.M.A.N.-Adv possui três tabelas para armazenar informações dos nós e hóspedes da rede.

- a) **Originators**: tabela responsável por armazenar informações sobre cada nó da rede mesh. Utilizada para roteamento de pacotes locais ou de pacotes que deverão ser reencaminhados;
- b) **Transtable\_global**: possui informações acerca de hóspedes da rede e nós aos quais estão conectados (nós de fim de rede). Esta tabela é consultada sempre que um pacote local é transmitido com o objetivo de encontrar uma conexão que transmita o pacote ao seu destino;
- c) **Transtable\_local**: armazena as informações dos nós hóspedes conectados ao nó. Sua utilização ocorre quando são enviados *Originators Messages* (OGMs) para toda a rede, onde as informações relativas aos hóspedes são apenas ao OGM de maneira a notificar a rede da existência dos hóspedes.

A entrada e saída da rede mesh situa-se na interface virtual mesh. O B.A.T.M.A.N.-Adv recebe o pacote como sendo uma trama MAC, onde o endereço da interface virtual é o próprio endereço de origem. Já o destino pode ser uma interface virtual de um outro nó que compõe a rede, um hóspede ou endereço de grupo (*multicast, broadcast*). Antes de efetuar a transmissão de um pacote, os seguintes passos são efetuados (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN 2011, tradução nossa):

- a) Procurar por endereço de grupo;
- b) Procurar nó de origem;
- c) Procurar melhor *best hop*;
- d) Transmitir pacote.

Ao ser realizada uma solicitação de envio de pacote, o nó que possui as melhores condições de entrega é escolhido, o pacote é construído com a informação original ou do nó que oferece melhores condições de entrega e, por fim, é entregue ao driver do dispositivo para transmissão física.

Quando é necessário reencaminhar um determinado pacote, o protocolo procura o endereço de destino na tabela *transtable\_global* para encontrar o nó que

está conectado ao destino do pacote. Então o pacote B.A.T.M.A.N.-Adv é construído com a informação original somada à informação adicional encontrada. Pacotes enviados por meio da interface virtual (estes podem ser enviados para uma camada externa, aplicação ou nó presente em outra rede interligada através de uma ponte) são diferenciados dos pacotes que são reencaminhados na rede mesh. Durante esse intervalo, os pacotes enviados através da interface virtual são chamados de pacotes locais.

#### **4.8 REENCAMINHANDO E RECEBENDO PACOTES**

Os pacotes da rede mesh são recebidos pelos nós por meio de um dispositivo de rede, sendo processado como B.A.T.M.A.N.-Adv caso o pacote *Ethernet* corresponda com o tipo B.A.T.M.A.N.-Adv (0x4305). Se este campo não condizer com o endereço do nó, o pacote é reencaminhado.

A transmissão de pacotes locais acontece de forma similar, exceto pelo fato que o pacote recebido já está com o campo de origem preenchido. O nó que oferece melhores condições receberá este pacote.

Assim que o pacote chega ao destino, o cabeçalho B.A.T.M.A.N.-Adv é retirado do pacote e entregue à interface virtual. Caso a interface esteja ligada por meio de uma ponte, o pacote poderá ser entregue a um nó vizinho, como retratado na seção 4.6.

## 5 TRABALHOS CORRELATOS

Com a maior utilização e difusão de protocolos de roteamento para redes mesh, surgiram diferentes projetos que buscam implementar essa tecnologia. Dentre diversos projetos em andamento, cabe citar: *BuenosAiresLibre*, GT-Mesh, VMesh e LUGRo-Mesh.

### 5.1 BUENOSAIRESLIBRE

Projeto que começou com o objetivo de criar uma rede comunitária em Buenos Aires, Argentina. Hoje trabalha com o protocolo OLSR, e os seguintes serviços são suportados pela rede: servidor FTP, servidor VoIP, IRC, *servidor web*, *streaming* de áudio e outros. Para auxiliar seus usuários na implantação dos nós, foi criado o *firmware Obelisco*. É possível observar, por meio da página *Buenos Aires Libre*, que a rede já superou a marca de quinhentos nós, tendo um tamanho considerável.

### 5.2 GT-MESH

Idealizado por professores e alunos da Universidade Federal Fluminense, o GT-Mesh desenvolveu um protótipo de roteador mesh que possui o objetivo de demonstrar a viabilidade de uma rede de acesso universitário banda larga sem fio. Além do hardware, foram desenvolvidas soluções em software para gerenciamento da rede mesh, autenticação de usuários além de um *framework* para *Quality of Service* (QoS).

### 5.3 VMESH

V-Mesh é um projeto de pesquisa que se propôs a estudar diferentes infraestruturas de redes sem fio de baixo custo e protocolos de comunicação de redes *ad hoc*. O objetivo foi realizar a implementação na cidade de *Volos*, Grécia, utilizando roteadores em modo *ad hoc* com o protocolo de roteamento *Optimized*

*Link State Routing* (OLSR), onde os usuários finais são conectados aos pontos de acesso por *Ethernet* ou Wi-Fi.

#### **5.4 LUGRO-MESH**

LUGRO-Mesh é um grupo componente do *Free Software User Group of Rosario* (LUGRO), Argentina. Um dos projetos em andamento consiste na criação de uma rede Wi-Fi comunitária e livre, denominada *Red Lugro-Mesh*, onde o objetivo é prover acesso à Internet para os habitantes de Rosário e arredores. Adicionalmente foi criado o *firmware Nightwing*, que promete uma rápida implementação de uma rede mesh (*0-config*) utilizando o protocolo B.A.T.M.A.N., desde que o *access point* seja compatível.

#### **5.5 AN EXPERIMENTAL COMPARISON OF ROUTING PROTOCOLS IN MULTI HOP AD HOC NETWORKS**

Os estudos realizados por Dixon, Koziniec e Murray (2010) demonstram resultados similares aos colhidos neste projeto. Tanto o protocolo OLSR quanto o B.A.T.M.A.N.-Adv obtiveram perdas de pacotes não significantes, além de obter performance similar no que diz respeito à largura de banda e *throughput*.

Ainda é possível constatar que o protocolo de roteamento BABEL obteve resultados superiores em relação aos demais protocolos de roteamento apresentados: OLSR, BATMAND e B.A.T.M.A.N.-Adv. O protocolo BABEL não foi utilizado para comparações neste trabalho, pois os protocolos OLSR e B.A.T.M.A.N. já haviam sido definidos anteriormente.

## 6 IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE SEM FIO MESH

Para desenvolver o projeto, cujo objetivo é a comparação entre dois protocolos de roteamento mesh, foi necessário utilizar recursos de hardware e software, e foi pesquisado o funcionamento de redes sem fio mesh e seus protocolos.

Adicionalmente, ferramentas capazes de mensurar o comportamento de uma rede sem fio foram estudadas para coletar os dados e apresentá-los neste projeto. Uma estrutura de rede foi montada entre os roteadores para utilização e testes dos protocolos apresentados nos capítulos anteriores.

Os testes foram realizados em três cenários distintos com o objetivo de avaliar o comportamento dos nós presentes na rede.

### 6.1 ESCOLHA DO *FIRMWARE*

A finalidade de um *firmware* é gerenciar o funcionamento de um determinado hardware. Existem diversas opções conhecidas e compatíveis com os mais variados equipamentos, entretanto, é importante observar que o hardware utilizado poderá restringir a quantidade de funcionalidades disponíveis.

O *firmware* escolhido para implementação das redes mesh OLSR e B.A.T.M.A.N.-Adv foi o *OpenWRT/Freifunk*. O suporte a diversos dispositivos, possibilidade de compilação personalizada e a existência de uma derivação dedicada à criação de redes OLSR foram os fatores que motivaram a escolha.

O intuito do *OpenWRT* é permitir a sua customização, possibilitando a compilação de uma versão própria que englobe unicamente as funções desejadas, algo vantajoso quando se deseja realizar a instalação em dispositivos com pouca memória *flash* (4mb e, em casos extremos, 2mb).

Para a aplicação do protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv optou-se por compilar uma versão própria (*Attitude\_Adjustment rev 38621*), retirando funções que não seriam utilizadas, tais como interface gráfica e demais protocolos de roteamento. A utilização do protocolo OLSR foi garantida por meio do *firmware Freifunk* customizado, que teve como base o *OpenWRT (Attitude\_Adjustment rev 38445)*.

A escolha dos *firmwares* levou em conta a compatibilidade com o hardware utilizado, facilidade de implantação além da capacidade de trabalhar com protocolos de roteamento mesh.

## 6.2 ESCOLHA DO HARDWARE

A escolha inicial para realização dos testes com redes mesh incluía dois roteadores da marca Linksys, modelo WRT54G V3.0, observado na figura 17.

Figura 17 - Roteador Linksys WRT54G.



Fonte: Cisco Website.

Algumas características importantes são:

- a) Padrões: IEEE 802.11g, IEEE 802.11b;
- b) Canais: 11 canais (EUA, Canadá) ou 13 canais (Europa, Japão);
- c) Portas: 1 WAN 10/100 RJ45, 4 LAN 10/100 RJ45;
- d) Hardware: *Broadcom* BCM4712@216Mhz, 16MiB RAM, 4MiB Flash

Entretanto para utilização da *firmware* *OpenWRT* em sua versão mais atual (*Attitude\_Adjustment* 12.09), o roteador WRT54G não foi capaz de fornecer a performance desejada devido a baixa quantidade de RAM e frequência do chip *Broadcom*. Além disso, não há a possibilidade de implementar um *Virtual Access Point* (VAP), que é uma característica que poderá ser relevante ao se implantar redes mesh.

O roteador escolhido para substituir o *Linksys* foi o TP-Link WR841N, figura 18, por ser um roteador atual com características de hardware superiores ao WRT54G, além da maior facilidade para sua aquisição.

Figura 18 - Roteador TP-Link 841N.



Fonte: TP-Link Website.

Eis algumas características deste roteador:

- a) Padrões: IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b;
  - b) Canais: 11 canais;
  - c) Portas: 1 WAN 10/100 RJ45, 4 LAN 10/100 RJ45;
  - d) Hardware: *Atheros* AR9341 535MHz (v8.X), 32MiB RAM, 4MiB Flash.
- Alguns testes exigiram a utilização de clientes Wi-Fi na rede mesh.

### 6.3 IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA

Os roteadores WR841N, assim como os demais produtos da TP-LINK, vem de fábrica com um *firmware* proprietário. As funções disponibilizadas por padrão não permitem a elaboração de redes mesh, entretanto, o roteador em questão é compatível com diversos outros, dentre os quais o *OpenWRT/Freifunk*.

Os seguintes passos são necessários para a instalação de um *firmware* alternativo:

- a) Obtenção da mesma compatível com o roteador;
- b) Acesso à página de atualização no *access point*;
- c) Realização das configurações pertinentes ao OLSR e B.A.T.M.A.N.-Adv, assim como consta detalhadamente no Apêndice A.

## 6.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

Métricas de desempenho especificam as características do estado da rede sem fio durante os experimentos realizados. A seguir, as métricas de desempenho utilizadas no contexto desse projeto:

- a) **Varição de atraso (*jitter*)**: a medição é calculada mediante a diferença do atraso entre dois pacotes. Esta distorção de tempo pode se tornar prejudicial ao tráfego multímia, fazendo com que sinais de áudio e vídeo apresentem qualidade distorcida ou fragmentada na recepção. O cálculo é realizado de acordo com as especificações constantes no RFC 1889, sendo realizado pelo nó servidor;
- b) **Perda de datagramas**: Um datagrama se refere a uma entidade de dados completa e independente contendo informações necessárias para ser encaminhada entre origem e destino (MALKIN, MARINE e REYNOLDS, 1994). O nó servidor identifica cada datagrama, sendo assim capaz de calcular a quantidade perdida durante a transmissão;
- c) **Largura de banda**: é a capacidade de transmissão de dados, expressa habitualmente por kilobits por segundo (Kbps), megabits por segundo (Mbps) ou gigabite por segundo (Gbps);
- d) **Vazão (*throughput*)**: a quantidade de dados movidos de um nó da rede para outro em determinado período de tempo é denominado vazão. Pode-se dizer que a vazão determina a taxa de transferência efetiva de um sistema.

## 6.5 FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO (IPERF)

Esta é uma ferramenta de análise de largura de banda, vazão, *jitter* e perda de datagramas. Se não houver preocupações com o tráfego gerado, é possível utilizar este software como gerador simples de carga.

O uso do *iperf* permite utilizar tanto o protocolo UDP quando o TCP, podendo também gerenciar múltiplas conexões simultâneas. Somente utilizando o protocolo UDP foi possível obter os valores de *jitter* e perda datagramas.

Devido a flexibilidade apresentada pelo *firmware* OpenWRT, é possível incluir esta ferramenta no próprio roteador.

## 6.6 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE TESTES

Na realização dos testes optou-se por utilizar 3 (três) cenários distintos, com o objetivo de avaliar o comportamento dos protocolos de roteamento em situações distintas. A disposição dos nós ao longo do campus da UNESC foi realizada da seguinte maneira (figura 19):

Figura 19 - Disposição dos roteadores mesh.



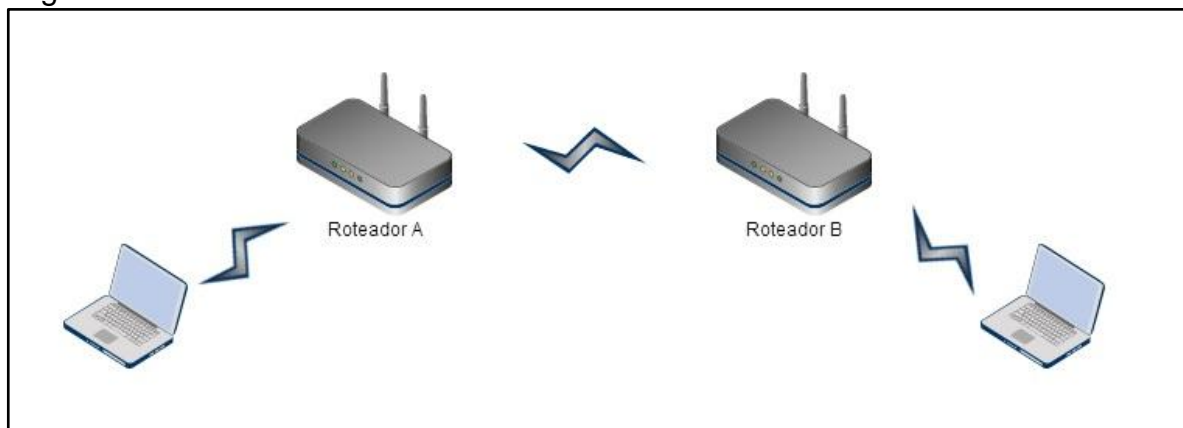
Fonte: Google Earth.

O roteador A ficou localizado na sala 4 do setor da biblioteca, enquanto o roteador B foi instalado no laboratório 15 (2º andar) do bloco XXI-A. A distância aproximada entre os dois pontos é mensurada em torno de 60 metros. O roteador C ficou instalado no laboratório 9 (1º andar) do bloco XXI-A, estando na área de abrangência do roteador B, não tendo visada com o roteador A, somente roteador B.

Para escolha do canal a ser utilizado, a ferramenta *Horst* foi executada, possibilitando a escolha de canais não conflitantes com os já presentes nas dependências do local de instalação dos roteadores (figura 20).



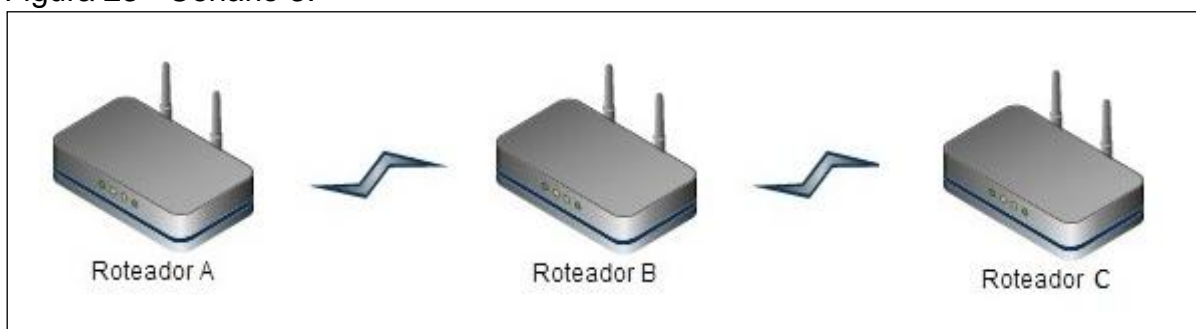
Figura 22 - Cenário 2.



Fonte: Do autor.

Buscando uma diferenciação em relação ao primeiro cenário e também se aproximar de uma situação comum em redes mesh, o cenário três apresenta três roteadores, conforme figura 23.

Figura 23 - Cenário 3.



Fonte: Do autor.

Os nós foram dispostos de tal forma que a comunicação entre A e C se tornou possível apenas por meio do nó B, constatado pela utilização da ferramenta traceroute presente no protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv (figura 24).

Figura 24 - Verificando a rota utilizando traceroute.

```

root@OpenWrt:~# batctl tr 10.0.0.5
traceroute to 10.0.0.5 (66:66:b3:70:b9:c4), 50 hops max, 20 byte packets
 1: 66:66:b3:70:b9:c4 2.883 ms 182.908 ms 313.661 ms ← 1 salto
root@OpenWrt:~# batctl tr 10.0.0.5
traceroute to 10.0.0.5 (66:66:b3:70:b9:c4), 50 hops max, 20 byte packets
 1: 66:66:b3:70:b9:c4 2.991 ms 149.564 ms * ← 1 salto
root@OpenWrt:~# batctl tr 10.0.0.5
traceroute to 10.0.0.5 (66:66:b3:70:b9:c4), 50 hops max, 20 byte packets
 1: 66:66:b3:82:19:54 22.606 ms 22.337 ms 27.263 ms
 2: 66:66:b3:70:b9:c4 3.719 ms 1.727 ms 2.094 ms ← 2 saltos
root@OpenWrt:~#
root@OpenWrt:~# iperf -c 10.0.0.5 -b 54M -i 2 -t 30 -u
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 10.0.0.5, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 160 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.0.0.2 port 58908 connected with 10.0.0.5 port 5001
root@OpenWrt:~# batctl tr 10.0.0.5
traceroute to 10.0.0.5 (66:66:b3:70:b9:c4), 50 hops max, 20 byte packets
 1: 66:66:b3:82:19:54 0.871 ms 0.844 ms 0.847 ms
 2: 66:66:b3:70:b9:c4 1.707 ms 1.587 ms 1.615 ms ← 2 saltos
root@OpenWrt:~#

```

Fonte: Do autor.

## 6.7 RESULTADOS OBTIDOS

Cada teste foi repetido 3 vezes para realizar o cálculo da média de desempenho do protocolo em determinada situação. As seguintes taxas de transferência foram utilizadas para as medições: 6 Mbps, 18 Mbps, 36 Mbps, 54 Mbps e 150 Mbps.

Para tanto, a ferramenta *iperf* foi executada em um dos roteadores em modo servidor, utilizando o comando "iperf -s -u" para operação com conexões UDP, como mostra a figura 25.

Figura 25 - Servidor *Iperf*.

```

root@10-90-0-5:~# iperf -s -u
-----
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 160 KByte (default)
-----

```

Fonte: Do autor.

No nó de destino, a sintaxe utilizada para execução foi: "iperf -c **IP\_SERVIDOR** -b Xm -t 15 -u", onde **X** representa a largura de banda a ser utilizada e 15 definido como tempo total de cada teste. Um exemplo de uso deste comando é encontrado na figura 26.

Figura 26 - Exemplo de execução do cliente *Iperf*.

```

root@batman-gate:~# iperf -c 10.0.0.3 -t 15 -u -b 54m
-----
Client connecting to 10.0.0.3, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 160 KByte (default)
-----
[  3] local 10.0.0.1 port 60703 connected with 10.0.0.3 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[  3] 0.0-15.0 sec  92.5 MBytes 51.7 Mbits/sec
[  3] Sent 65956 datagrams
[  3] Server Report:
[  3] 0.0-15.0 sec  91.4 MBytes 51.1 Mbits/sec  0.485 ms 738/65957 (1.1%)
root@batman-gate:~#

```

Fonte: Do autor.

### 6.4.1 Primeiro Cenário

Os resultados obtidos nos testes com o protocolo OLSR e B.A.T.M.A.N. - Adv podem ser verificados abaixo nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 - Resultados OLSR no cenário 1 – Dados coletados

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m (1)	10,7	5,98	0,663	0,052%
6m (2)	10,7	6	0,357	0,013%
6m (3)	10,7	6	0,45	0,013%
18m (1)	29,2	16,3	0,515	1,1%
18m (2)	32,2	18	0,399	0,061%
18m (3)	32,2	18	0,31	0,004%
36m (1)	58,9	32,8	0,334	0,52%
36m (2)	63,9	35,7	0,361	0,01%
36m (3)	64,2	35,9	0,497	0,32%
54m (1)	94,7	52,9	0,414	0,32%
54m (2)	80,2	44,8	0,471	0,27%
54m (3)	85,7	47,9	0,244	2%
150m (1)	157	87,6	0,833	3,7%
150m (2)	178	99,8	0,398	3,5%
150m (3)	180	101	0,137	4,8%

Fonte: Do autor

Tabela 2 - Resultados OLSR no cenário 1 – Média

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	5,99	0,490	0,026%
18m	31,2	17,43	0,408	0,388%
36m	62,33	34,8	0,397	0,283%
54m	86,86	48,53	0,376	0,863%
150m	171,66	96,13	0,206	4%

Fonte: Do autor

Tabela 3 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 1 – Dados coletados

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m (1)	10,4	5,8	0,118	3,3%
6m (2)	10,1	5,72	0,174	6,1%
6m (3)	10,3	5,78	0,124	3,6
18m (1)	28	15,7	1,466	13%
18m (2)	28	15,6	2,622	13%
18m (3)	31,7	17,7	0,462	1,6%
36m (1)	55,4	31	0,122	14%
36m (2)	62,1	34,7	1,547	3,5%
36m (3)	63	35,3	0,985	2,3%
54m (1)	95	53,2	1,18	1,7%
54m (2)	94,2	52,7	1,274	2,1%
54m (3)	93,4	52,3	0,94	3,2%
150m (1)	134	75,1	0,972	0,89%
150m (2)	135	75,4	0,921	0,22
150m (3)	134	74,8	0,963	0,71

Fonte: Do autor

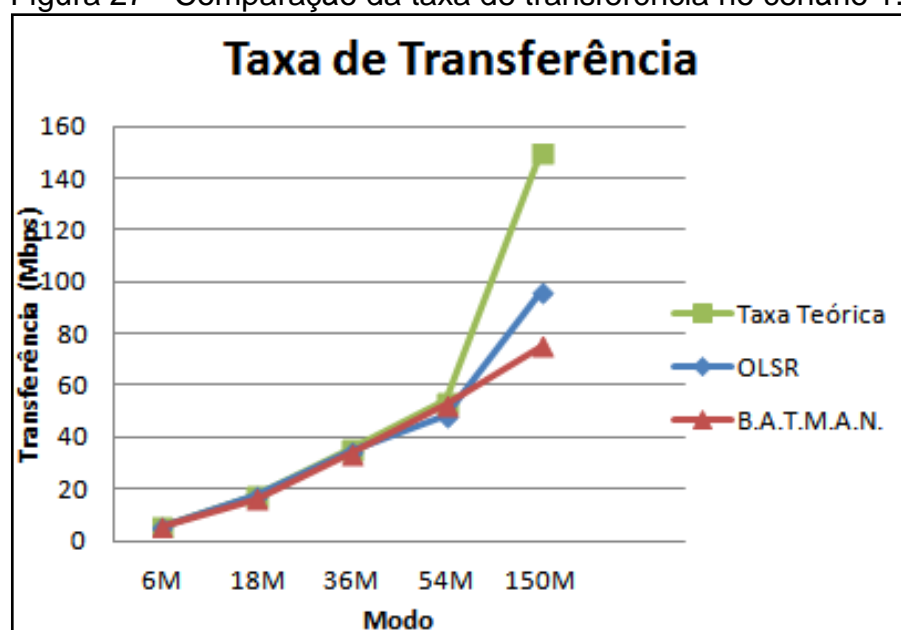
Tabela 4 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 1 – Média

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,26	5,76	0,138	4,33%
18m	29,23	16,33	1,516	9,2%
36m	60,16	33,66	0,884	6,6%
54m	94,2	52,73	1,131	2,33%
150m	134,33	75,1	0,943	0,6%

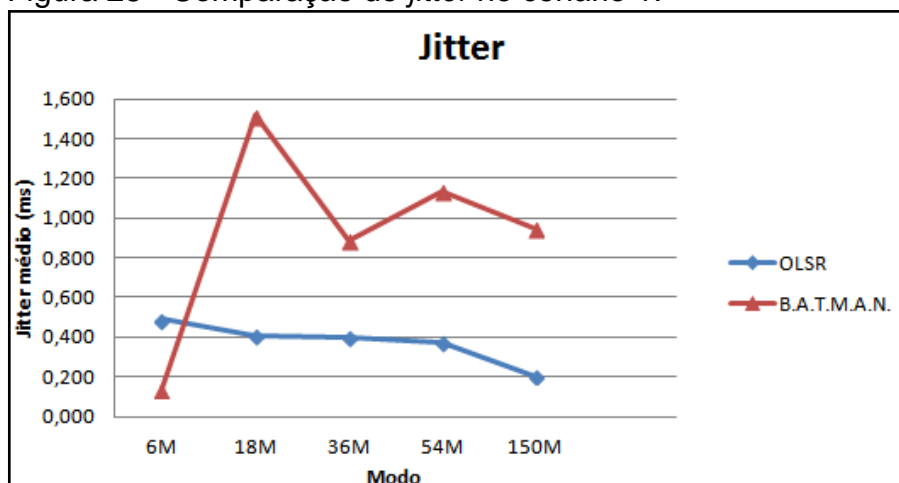
Fonte: Do autor

Observando os resultados obtidos no primeiro cenário, constatou-se que os protocolos se saíram melhor em situações distintas. O OLSR atingiu uma maior taxa de transferência em uma ocasião em particular e obteve uma menor taxa de *jitter*. Todavia, enquanto a taxa de transferência subia, a quantidade de datagramas perdidos aumentava. B.A.T.M.A.N.-Adv agiu de forma contrária em relação aos datagramas perdidos, marcando resultados mais estáveis a medida que a largura de banda aumentou. Uma melhor visualização dos dados obtidos é visto nas figuras 27, 28 e 29.

Figura 27 - Comparação da taxa de transferência no cenário 1.

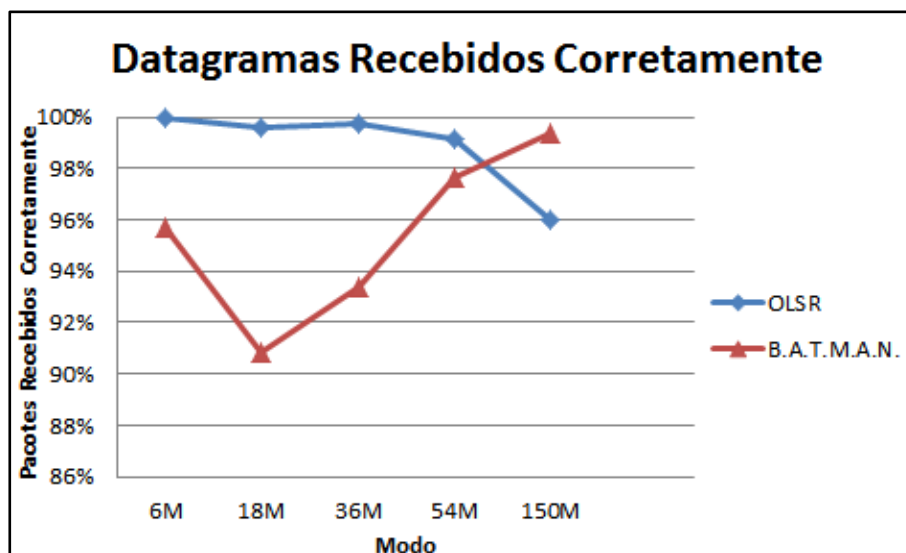


Fonte: Do autor.

Figura 28 - Comparação do *jitter* no cenário 1.

Fonte: Do autor.

Figura 29 - Comparação de datagramas recebidos corretamente no cenário 1.



Fonte: Do autor.

#### 6.4.2 Segundo Cenário

No segundo cenário, foram analisados os resultados da inserção de clientes sem fio junto à VAP criada nos roteadores. Os resultados dos testes podem ser visualizados nas tabelas 5, 6, 7 e 8.

Tabela 5 - Resultados OLSR no cenário 2 – Dados coletados

Taxa Nominal (Mbps/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbps/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m (1)	10,4	5,81	0,535	0,13%
6m (2)	10,7	6	0,62	0,17%
6m (3)	10,6	5,93	0,711	0,013%
18m (1)	32,2	17,9	2,49	0,32%
18m (2)	32,2	18	0,565	0,17%
18m (3)	31,8	17,8	0,757	1,2%
36m (1)	37,7	20,8	0,503	0,38%
36m (2)	30,1	16,5	2,39	0,51%
36m (3)	39,7	21,9	1,43	0,39%
54m (1)	28	15,4	0,981	1,66%
54m (2)	27,1	14,9	1,12	1,18%
54m (3)	28,3	15,6	1,12	2,34%
150m (1)	28	15,5	1,079	3,39%
150m (2)	27,5	15,1	1,506	3,87%
150m (3)	32,4	18	1,841	4,56%

Fonte: Do autor

Tabela 6 - Resultados OLSR no cenário 2 – Média

Taxa Nominal (Mbps/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbps/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,56	5,91	0,622	0,052%
18m	32,06	17,9	1,27	0,563%
36m	35,83	19,73	1,441	0,427%
54m	27,8	15,3	1,073	1,727%
150m	29,3	16,2	1,475	3,94%

Fonte: Do autor

Tabela 7 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 2 – Dados coletados

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m (1)	10,7	6	0,784	0,013%
6m (2)	10,7	6	0,931	0,026%
6m (3)	10,7	6	0,6	0,11%
18m (1)	32,2	18	1,114	0,43%
18m (2)	30,6	17,1	1,388	0,41%
18m (3)	32,1	18	1,138	0,4%
36m (1)	34,4	19,2	1,491	0,41%
36m (2)	34,9	19,3	1,135	0,052%
36m (3)	36,4	20,3	1,521	1,1%
54m (1)	35,7	19,9	0,999	1,78%
54m (2)	33,8	18,9	1,419	1,65%
54m (3)	35,1	19,3	1,967	3,1%
150m (1)	33,3	18,6	1,333	3,85%
150m (2)	31,4	17,2	1,446	5,3%
150m (3)	31,9	17,8	2,39	5,3%

Fonte: Do autor

Tabela 8 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 2 – Média

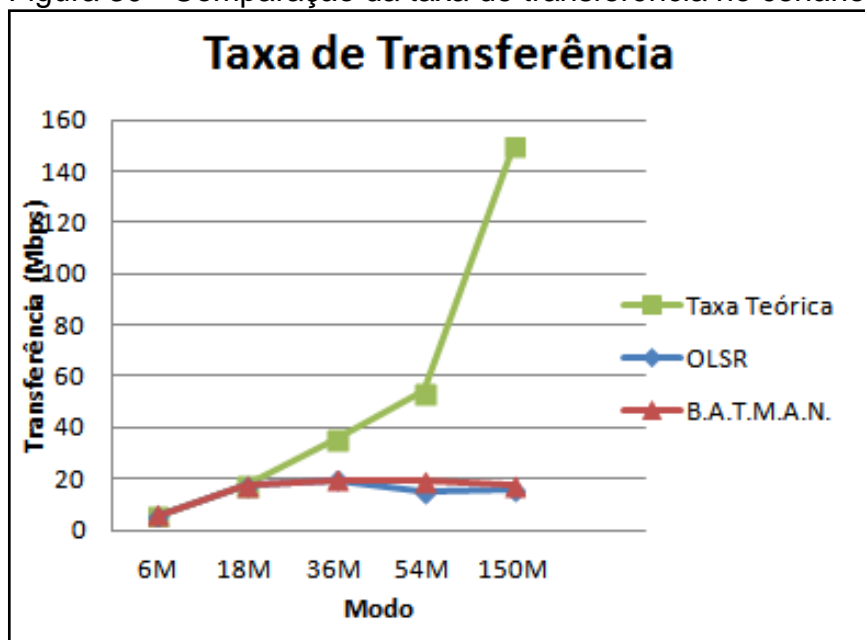
Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	6	0,771	0,05%
18m	31,63	17,7	1,213	0,413%
36m	35,23	19,6	1,382	0,521%
54m	34,86	19,36	1,461	2,17%
150m	32,2	17,86	1,672	4,82%

Fonte: Do autor

No cenário 2, notou-se uma queda de desempenho, onde a largura de banda não excedeu a taxa de 22Mbits/sec em nenhum dos testes, como pode ser observado na figura 30. Porém, os resultados referentes ao *jitter* e porcentagem de pacotes perdidos não sofreram avarias significativas, mas concederam uma pequena vantagem ao protocolo OLSR (figuras 31 e 32).

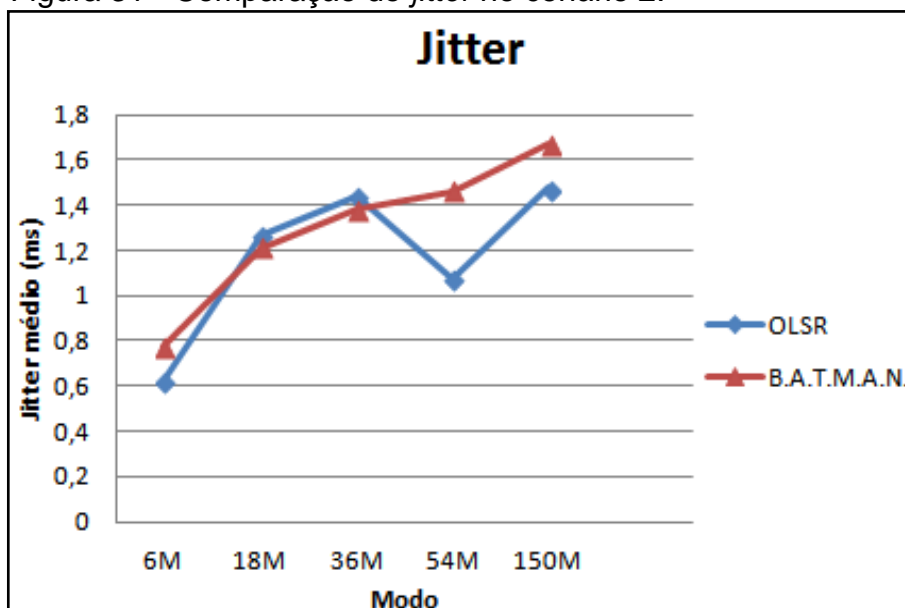
Esse resultado refletiu não somente o impacto gerado pela inserção de transmissão sem fio entre roteador e cliente, mas também demonstrou que a taxa de transferência pode ser afetada por consequência da utilização de um VAP, visto que uma rede sem fio que opere com um padrão atual poderá sofrer de depreciação de performance com a presença de aparelhos que ainda operem em padrões mais antigos.

Figura 30 - Comparação da taxa de transferência no cenário 2.



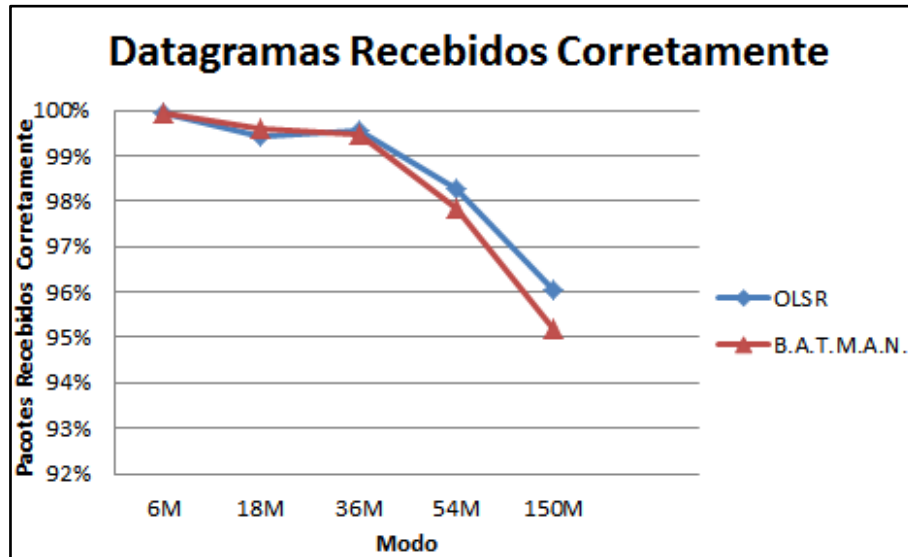
Fonte: Do autor.

Figura 31 - Comparação do *jitter* no cenário 2.



Fonte: Do autor.

Figura 32 - Comparação de datagramas recebidos corretamente no cenário 2



Fonte: Do autor.

Por outro lado, os testes demonstram que existiu uma pequena vantagem de na taxa de transferência do protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 2.

### 6.4.3 Terceiro Cenário

O último cenário trata de um comportamento comum nas redes em malha: a capacidade de percorrer um nó da rede para se comunicar com um nó que em condições normais estaria fora de alcance. Os resultados são visualizados nas tabelas 9, 10, 11 e 12.

Tabela 9 - Resultados OLSR no cenário 3 – Dados coletados

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m (1)	10,7	6	0,938	0,013%
6m (2)	10,7	5,99	0,895	2,06%
6m (3)	10,7	6	1,225	0,013%
18m (1)	31,1	17	1,194	0,24%
18m (2)	31,6	17,4	0,931	2,06%
18m (3)	32,1	17,9	0,657	0,9%
36m (1)	52,6	28,6	0,606	1,55%
36m (2)	58,5	32	1,612	1,99%
36m (3)	55,1	30,2	0,651	2,08
54m (1)	60,2	33,1	1,79	1,88%
54m (2)	62,1	34,1	1,736	2,01%
54m (3)	57,9	31,8	1,166	1,92%
150m (1)	71,4	39,2	1,31	2,78%
150m (2)	72	39,2	1,318	2,76%
150m (3)	71,1	38,7	0,211	2,96%

Fonte: Do autor

Tabela 10 - Resultados OLSR no cenário 3 – Média

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	5,99	1,01	0,013%
18m	31,6	17,4	0,927	1,07%
36m	55,5	30,2	0,956	1,87%
54m	60,06	33	1,564	1,93%
150m	71,5	39,1	0,95	2,83%

Fonte: Do autor

Tabela 11 - Resultados B.A.T.M.A.N. no cenário 3 – Dados coletados

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m (1)	10,7	6	1,13	0,34%
6m (2)	10,7	6	0,753	0,013%
6m (3)	10,7	6	1,725	0,013%
18m (1)	32,1	17,9	0,714	0,34%
18m (2)	32,1	18	0,731	8,4%
18m (3)	31,7	17,7	1,095	1,1%
36m (1)	51,9	28,2	0,612	2,28%
36m (2)	55,5	31,1	0,897	3,09%
36m (3)	61,6	33,9	1,295	2,25%
54m (1)	67,1	36,5	1,23	2,57%
54m (2)	64	35,8	0,943	2,16%
54m (3)	64,22	36,1	1,154	2,21%
150m (1)	72,3	39,7	1,36	3,6%
150m (2)	73,6	40,3	1,195	2,84%
150m (3)	73,2	40,1	0,996	2,01

Fonte: Do autor

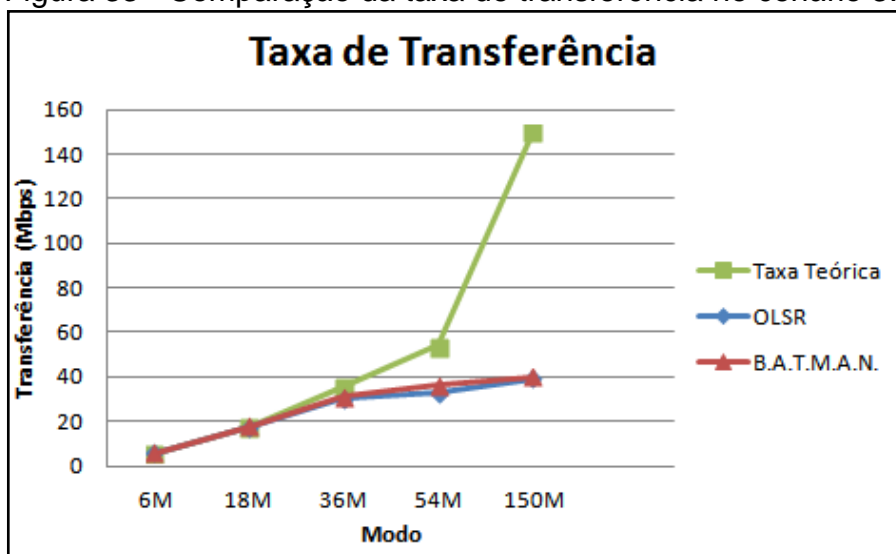
Tabela 12 - Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 3 – Média

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	<i>Jitter</i> (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	6	1,205	0,122%
18m	31,9	17,9	0,847	3,172%
36m	56,3	31,1	0,935	2,54%
54m	65,1	36,1	1,109	2,31%
150m	73	40,03	1,186	2,81%

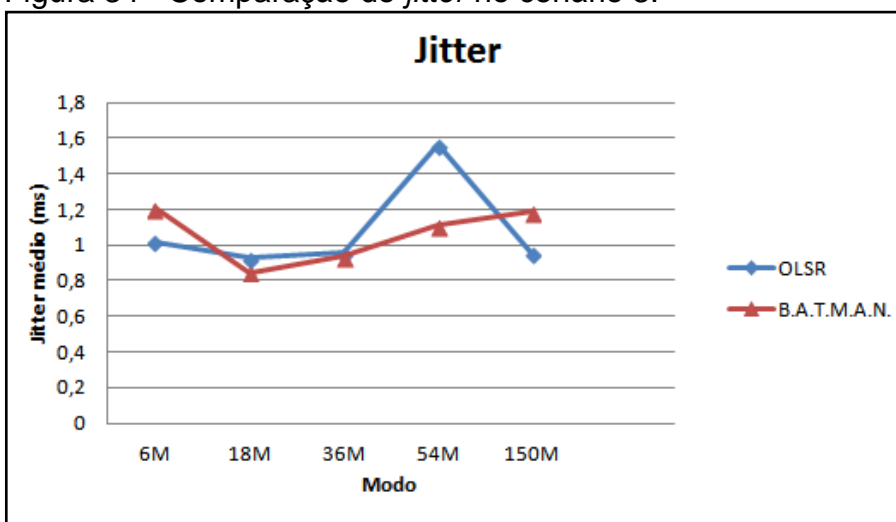
Fonte: Do autor

Este cenário demonstrou resultados similares aos obtidos no primeiro. Verificou-se que a taxa de transferência encontrou seu pico em torno de 40Mbps (figura 33). A queda de velocidade foi, de certa forma, esperada devido as condições do teste, pois, todo o tráfego foi retransmitido pelo nó intermediário. Os demais valores apresentaram valores satisfatórios, melhor visualizados nas figuras 34 e 35.

Figura 33 - Comparação da taxa de transferência no cenário 3.

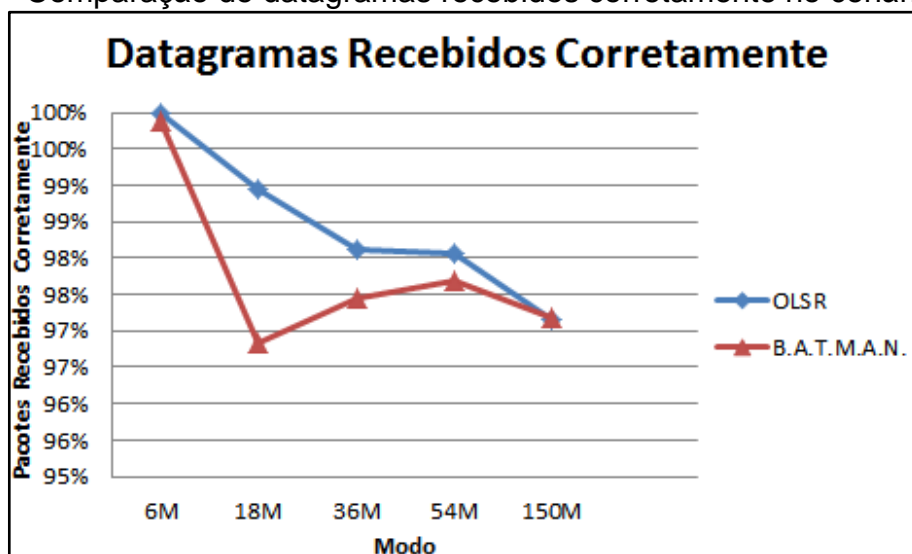


Fonte: Do autor.

Figura 34 - Comparação do *jitter* no cenário 3.

Fonte: Do autor.

Figura 35 - Comparação de datagramas recebidos corretamente no cenário 3.



Fonte: Do autor.

## 7 CONCLUSÃO

Os objetivos deste trabalho consistiram na realização de estudos sobre o funcionamento das redes sem fio mesh e seus protocolos, em especial do *Optimized Link State Routing* (OLSR) e *Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking* (B.A.T.M.A.N.-Adv), que foram analisados e submetidos a baterias de testes para avaliar seu comportamento em determinados cenários.

Tratando-se de redes sem fio, foi abordado seu funcionamento, incluindo métodos de transmissão, histórico e padronização. Adicionalmente, foi possível conhecer melhor o funcionamento e características de uma rede mesh, incluindo seus protocolos e métodos diferentes de atuação na rede.

As redes mesh passaram a ter uma visibilidade cada vez maior e mais projetos surgem ao redor do globo. Isso demonstra o interesse dos profissionais em realizar pesquisas que busquem a otimização deste tipo de tecnologia, pois é a partir daí que seus benefícios ficarão mais evidentes para a sociedade.

O protocolo OLSR teve seu funcionamento analisado por meio de pesquisas, incluindo a RFC 3626. A partir de então houve uma melhor compreensão de seu funcionamento, formas de roteamento, empacotamento e tipos de mensagens transmitidas aos nós para que a malha seja montada.

Em relação ao B.A.T.M.A.N.-Adv, as pesquisas feitas e documentações estudadas demonstraram que seu funcionamento possui diversas características interessantes. A capacidade de realizar o roteamento na malha sem a utilização de mensagens de tamanho expressivo e a facilidade agregada por trabalhar na camada 2 são exemplos de vantagens em relação a outros tipos protocolos de roteamento. Porém, verificou-se que realizar estudos com protocolos como o B.A.T.M.A.N.-Adv, gera algumas dificuldades com problemas básicos e avançados, devido a pouca documentação encontrada.

Todavia, ao realizar o estudo entre os dois protocolos, observou-se que, apesar de possuírem características distintas, não foi possível firmar a existência de um protocolo que se sobressaia em relação dentro dos cenários propostos.

A principal dificuldade encontrada para realização deste trabalho residiu na configuração e entendimento da documentação do B.A.T.M.A.N.-Adv. Na realidade, observou-se que a documentação em forma de *Wiki* é escassa e desestruturada. Compreender o seu funcionamento baseado somente na

documentação provida pelos próprios autores é uma tarefa árdua, pois, não existe uma estrutura lógica que possa ser seguida de forma concisa e objetiva.

Trabalhos futuros poderão focar na estrutura de segurança de redes que utilizem os protocolos OLSR ou B.A.T.M.A.N.-Adv, ou ainda realizar uma análise mais aprofundada no comportamento dos protocolos, realizando ajustes finos em suas configurações para comparação dos resultados em relação as configurações padrões.

Por fim, este trabalho cumpriu o objetivo proposto e proporcionou a obtenção de conhecimento em redes sem fio, ferramentas de análise e testes de redes, redes mesh, OLSR e B.A.T.M.A.N., agregando valor no campo de pesquisa e profissional.

## REFERÊNCIAS

ABELÉM, Antônio Jorge Gomes. et al. **Redes Mesh: Mobilidade, Qualidade de Serviço e Comunicação em Grupo**. Disponível em: <[www.sbrc2007.ufpa.br/anais/2007/MC%20-%2002.pdf](http://www.sbrc2007.ufpa.br/anais/2007/MC%20-%2002.pdf)> Acesso em: 13 out. 2011.

AKYILDIZ, I F., WANG, X.; WANG, W. **Wireless Mesh Networks: a survey**. Philadelphia, USA. Elsevier, 2004.

ALBUQUERQUE, Célio Vinicius Neves de. et al. **GT-Mesh: RT1 - Termo de referência e estado da arte**. Disponível em: <[http://www.tempo.uff.br/arquivos/GT-MESH-RT1-Estado\\_da\\_Arte.pdf](http://www.tempo.uff.br/arquivos/GT-MESH-RT1-Estado_da_Arte.pdf)> Acesso em: 03 mai. 2013.

CLAUSEN, Thomas Heide; JACQUET , Philippe. **RFC 3626: Optimized Link State Routing Protocol**. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>> Acesso em: 18 ago. 2012.

DANTAS, Mario. **Tecnologia de Redes de Comunicação de Microcomputadores**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.

DIXON, Michael; KOZINIEC, Terry; MURRAY, David. **An Experimental Comparison of Routing Protocols in Multi Hop Ad Hoc Networks**. Disponível em: <[http://researchrepository.murdoch.edu.au/3982/1/Comparison\\_of\\_Routing\\_Protocols.pdf](http://researchrepository.murdoch.edu.au/3982/1/Comparison_of_Routing_Protocols.pdf)> Acesso em: 02 jun. 2014.

DORNAN, Janice. **Going Wi-Fi: A Practical Guide to Planning and Building on 802.11 Network**. San Francisco, USA: CMP Books, 2003.

DURAN, Eduard. Wifi mesh network nodes on guifi.net. Disponível em: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/7383>> Acesso em: 10 nov. 2013.

FARIAS, Márcio Martins. **Protocolo de roteamento para redes wireless mesh**. Disponível em: <[http://www.inf.pucrs.br/~eduardob/pucrs/research/students/MarcioFarias/SeminarioAndamento/seminario\\_andamento\\_final.pdf](http://www.inf.pucrs.br/~eduardob/pucrs/research/students/MarcioFarias/SeminarioAndamento/seminario_andamento_final.pdf)> Acesso em: 16 set. 2012.

FOUROZAN, Behrouz A. **Comunicação de Dados e Redes de computadores**. 3. ed. Porto Alegre: Bookerman, 2006.

GANZ, A.; GANZ, Z.; WONGTHAVARWAT. **Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards and QoS**. Upper Saddle River, USA: Prentice Hall PTR, 2003.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Sistemas de Comunicação Wireless**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HOSSAIN, Ekram; LEUNG, Kin K. **Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols**. London, UK: Springer-Verlag, 2008.

HU, Honglin; LUO, Jijun; ZHANG, Yan. **Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards**. Boca Raton, USA. Auerbach, 2007.

HUNDEBØLL, Martin. et al. **Catwoman: Implementation and Performance Evaluation of IEEE 802.11 based Multi-Hop Networks using Network Coding**. Disponível em: <<http://www.techrepublic.com/resource-library/whitepapers/catwoman-implementation-and-performance-evaluation-of-ieee-802-11-based-multi-hop-networks-using-network-coding>> Acesso em: 21 set. 2013.

HUNDEBØLL, Martin; LEDET-PEDERSEN, Jeppe. **Inter-Flow Network Coding For Wireless Mesh Networks**. Disponível em: <<http://mobiledev.lab.es.aau.dk/attachments/3/master.pdf>> Acesso em: 21 set. 2013.

JOHN, Vinicius; SANTOS, Felipe; TROIAN, Rodrigo. **Redes Mesh**. Disponível em: <<http://softwarelivre.org/rede-mesh/apresentacao-latinoware-mesh.pdf>> Acesso em: 29 mai. 2012.

JUN, Jangeun; SICHITIU, Mihail L.. **The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks**. Disponível em: <[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1241089](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1241089)> Acesso em: 13 out. 2011.

MALKIN, Gary S.; MARINE, April N.; REYNOLDS, Joyce K. **RFC 1594: Answers to Commonly asked "New Internet User" Questions**. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc1594>> Acesso em: 08 jun. 2014.

MISRA, Sudip; MISRA, Subhas C.; WOUNGANG, Isaac. **Guide to Wireless Mesh Networks**. London, UK: Springer-Verlag, 2009.

MURHAMMER, Martin W. et al. **TCP/IP: Tutorial e Técnico**. São Paulo: Makron Books, 2000.

QUARTULLI, Antonio. et al. **Open-mesh: Branches Explained**. Disponível em: <<http://www.open-mesh.org/projects/open-mesh/wiki/BranchesExplained>> Acesso em: 21 set. 2013.

PRZYBYSZ, André Luiz; LUIZ JÚNIOR, Olavo José. **Infra-estrutura e Roteamento em Redes Wireless Mesh**. Disponível em: <<http://www.olavo.eti.br/2008/UTFPR/SynergisusScyentificaUTFPR-WMN.pdf>> Acesso em: 17 set. 2011.

**Redes sem fio no mundo em desenvolvimento**: Um guia prático para o planejamento e a construção de uma infra-estrutura de telecomunicação. 2008.

SILVEIRA, Sabrina Silva. **Formação à distância para Educadores Sociais: promovendo a interação para construção de um saber partilhado**. Disponível em: <<http://www.pensamentodigital.org.br/files/TCC%20Sabrina%20Silveira%20EADRS04%20v1.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2011.

TANEMBAUM, Andrew S.. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

TANEMBAUM, Andrew S., WETHERALL, David J.. **Computer Networks**. 5. ed. Boston, Massachusetts: Pearson, 2010.

## APÊNDICE A - CONFIGURAÇÃO DOS ROTEADORES

Obter um *firmware Freifunk* compatível com o roteador WR841N(D) é uma tarefa simplificada e bastante personalizável, bastando acessar o *site* <http://http://testing.meshkit.freifunk.net> (figura 36) e utilizar as seguintes configurações:

- a) Selecionar o perfil WR841, a caixa de seleção "*Expert*" e avançar;
- b) Definir IPs da LAN, WLAN e WAN (opcional);
- c) Na configuração de imagem, habilitar VAP na seção *Wireless* (opcional);
- d) Caso o nó ofereça conexão com a internet, marcar a caixa de seleção "*Share Internet*" na seção WAN;
- e) Selecionar pacotes adicionais desejados na seção "*Packages*" (opcional). Exemplo: *Aircrack*, *Apache*, *Horst*, *Iperf*, entre outros;
- f) Realizar o *download* do *firmware* adequado para o roteador.

Figura 36 - Criador de imagens OpenWRT.

The screenshot shows the Meshkit web interface. At the top, there is a navigation bar with 'Index' and a language dropdown set to 'en'. Below this is the title '1. Basic configuration' and a warning: 'Warning: This installation of Meshkit and the generated images are still experimental. Please use with caution and be prepared for bugs. The repository packages may disappear at any time, so do not use this images for productive systems. There will hopefully be stable images with the release of Attitude Adjustment. Also, please report bugs. For a stable version please use Imagebuilder. Thanks and have fun now!'. A link to 'Meshkit Documentation' is provided. The configuration form includes:
 

- Community: dropdown menu with 'aachen' selected.
- Target: dropdown menu with 'ar71xx-generic-attitude\_adjustment-35891' selected.
- Expert: checkbox (unchecked).
- No configuration: checkbox (unchecked).
- Email: text input field.

 A 'SUBMIT' button is located at the bottom of the form.

Fonte: <http://augsburg.freifunk.net/>

Após a instalação, o acesso à interface gráfica do roteador irá depender das configurações empregadas e forma de conexão (*Ethernet* ou WLAN). No caso exemplificado, o acesso foi realizado via porta *Ethernet* sob o endereço 192.168.1.5.

O *firmware* gerado pelo método descrito já é instalado de forma pré-configurada para montar uma rede mesh básica, ficando a encargo do usuário realizar alterações ou configurações diferenciadas. Neste caso, as alterações

realizadas inicialmente foram limitadas à mudança dos *Service Set Identifier* (SSID) em cada um dos roteadores utilizados (figura 37).

Figura 37 - Visão geral das configurações da rede sem fio.

The screenshot shows the OpenWRT web interface. At the top, there are navigation tabs: Status, System, Services, Network, and Logout. The 'Administration' link is visible in the top right. The main content area is titled 'Wireless Overview'. It contains two radio profiles:

- Generic MAC80211 802.11bgn (radio0)**: Channel: 11 (2.462 GHz) | Bitrate: ? Mbit/s. SSID: OLSR | Mode: Ad-Hoc. BSSID: B2:CA:FF:EE:BA:BE | Encryption: -.
- Generic MAC80211 802.11bgn (radio1)**: Channel: 11 (2.462 GHz) | Bitrate: ? Mbit/s. SSID: OLSR-AP3 | Mode: Master. BSSID: 64:66:B3:70:B9:C4 | Encryption: None.

Each profile has 'Disable', 'Edit', and 'Remove' buttons. Below the profiles is the 'Associated Stations' section, which is currently empty with the message 'No information available'. The table headers for this section are: SSID, MAC-Address, IPv4-Address, Signal, Noise, RX Rate, and TX Rate.

Fonte: Do autor.

Já para utilizar o protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv em conjunto com os roteadores WR841N, optou-se por compilar uma versão própria do *firmware OpenWRT* de modo a incluir todos os pacotes necessários para o funcionamento de redes B.A.T.M.A.N.-Adv, além de ferramentas capazes de testar e analisar redes.

O *OpenWRT* fornece todas as informações necessárias para compilação de uma *firmware*. Para compilação em ambiente *Linux*, deve-se seguir os seguintes passos via linha de comando:

- Svn co svn://svn.openwrt.org/openwrt/branches/attitude\_adjustment;
- Cd attitude\_adjustment;
- Editar o arquivo scripts/feeds update para selecionar os repositórios de pacotes desejados;
- Scripts/feeds install -a;
- Make menuconfig;
- Make -jX+1 (onde X é a quantidade de núcleos do processador utilizado).

Existem *templates* que variam de acordo com o roteador utilizado, mas que permitem a seleção automática dos drivers necessários. Deve-se [retirei uma vírgula] selecionar os pacotes referentes ao B.A.T.M.A.N.-Adv encontrados em *Kernel modules -> Network Support*.



O arquivo B.A.T.M.A.N.-Adv armazena diversas opções do protocolo. A função de algumas dessas opções será detalhada a seguir:

- a) **Aggregated\_ogsm**: para reduzir o *overhead* do protocolo criado pelo processo de busca dos participantes da rede, o protocolo possui a capacidade de coletar e agregar OGMs, e enviá-las em um único pacote ao invés de pacotes menores. Opção ativada por padrão;
- b) **Ap\_isolation**: opção já conhecida e presente em diversos *access points*. *AP isolation* previne que os clientes de uma rede sem fio acessem um ao outro. Opção desativada por padrão;
- c) **Bonding**: quando o protocolo está ativo em várias interfaces *Wi-Fi* por nós, o módulo B.A.T.M.A.N.-Adv busca otimizar o fluxo de tráfego para buscar máxima performance. Ao ativar, todas as interfaces serão usadas ao mesmo tempo para receber e enviar informações. Desativada por padrão;
- d) **Fragmentation**: B.A.T.M.A.N.-Adv é capaz de fragmentar dados *unicast* que percorrem a rede. O intuito deste processo é permitir rodar B.A.T.M.A.N.-Adv em interfaces e conexões que não permitam o incremento no valor do MTU acima do valor de 1500 bytes. Opção ativada por padrão;
- e) **Gw\_mode**: em uma rede B.A.T.M.A.N.-Adv, um nó poderá rodar em *server mode* (compartilhando sua conexão de internet com a rede) ou *client mode*, buscando pelo caminho para a conexão com internet mais apropriada. Por padrão, esta opção é tratada como *client*;
- f) **Distributed\_arp\_table**: quando esta opção está ativa, é formado um cache *Address Resolution Protocol* (ARP) para auxiliar clientes não-mesh a receber respostas com maior confiabilidade e menor atraso. Quando presente, esta opção é ativada por padrão.

```
/etc/config/dhcp
```

```
config dnsmasq
```

```
option domainneeded 1
```

```
option boguspriv 1
```

```
option filterwin2k 0
```

```
option localise_queries 1
```

```
option rebind_protection 1
option rebind_localhost 1
option local '/lan/'
option domain 'lan'
option expandhosts 1
option noegcache 0
option authoritative 1
option readethers 1
option leasefile '/tmp/dhcp.leases'
option resolvfile '/tmp/resolv.conf.auto'
```

```
config dhcp lan
```

```
option interface lan
option start 100
option limit 50
option leasetime 5m
```

```
config dhcp wan
```

```
option interface wan
option ignore 1
```

A atribuição de IPs para os clientes é determinada pelos nós servidores. O arquivo acima define que os IPs irão começar no valor 100, e um nó poderá atribuir no máximo 50 IPs com tempo de 5 minutos cada. Quando se trata de um nó cliente, o arquivo acima sofre uma pequena alteração na seção **config dhcp lan**:

```
config dhcp lan
```

```
option ignore 1
```

Desta forma, a atribuição de IPs para os utilizadores da rede será feito pelos nós servidores, uma vez que os clientes que compõe a rede mesh limitam-se a escolher a melhor rota para o *gateway*, conforme descrito anteriormente.

*/etc/config/network*

```
config interface 'loopback'  
  option ifname 'lo'  
  option proto 'static'  
  option ipaddr '127.0.0.1'  
  option netmask '255.0.0.0'
```

```
config interface 'lan'  
  option type 'bridge'  
  option proto 'static'  
  option ipaddr 'IP_DO_ROTADOR'  
  option netmask 'MÁSCARA DE SUBREDE'  
  option dns 'SERVIDOR DNS'  
  option ifname 'bat0 eth1'
```

```
config interface 'wan'  
  option ifname 'eth0'  
  option proto 'dhcp'
```

```
config switch  
  option name 'switch0'  
  option reset '1'  
  option enable_vlan '1'
```

```
config switch_vlan  
  option device 'switch0'  
  option vlan '1'  
  option ports '0 1 2 3 4'
```

```
config interface 'mesh0'  
  option proto 'batadv'  
  option mtu '1528'  
  option mesh 'bat0'  
  option ifname 'adhoc0'
```

Este arquivo manteve suas configurações padrões, sendo adicionado somente uma bridge entre a LAN e a interface mesh "bat0", além da criação da interface "mesh0", que será utilizada pelo arquivo de configurações da rede sem fio.

*/etc/config/wireless*

```
config wifi-device 'radio0'
    option type 'mac80211'
    option hwmode '11nd'
    option path 'platform/ar934x_wmac'
    option htmode 'HT20'
    list ht_capab 'LDPC'
    list ht_capab 'SHORT-GI-20'
    list ht_capab 'SHORT-GI-40'
    list ht_capab 'TX-STBC'
    list ht_capab 'RX-STBC1'
    list ht_cpab 'DSSS_CCK-40'
    option channel '11'
    option disabled 0
    option phy 'phy0'
```

```
config wifi-iface
    option device 'radio0'
    option encryption 'none'
    option mode 'ap'
    option ssid 'REDE_USUARIOS'
    option network 'lan'
```

```
config wifi-iface
    option device 'radio0'
    option ifname 'adhoc0'
    option encryption 'none'
    option network 'mesh0'
    option mode 'adhoc'
    option bssid '02:CA:FE:CA:CA:40'
```

option ssid 'batman'

## APÊNDICE B - Artigo Sobre o Trabalho

### Avaliação de Desempenho entre Protocolos de Roteamento nas Redes em Malha – OLSR e B.A.T.M.A.N.

João Paulo Ribeiro Cardoso<sup>1</sup>, Paulo João Martins<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) – Criciúma – Brasil

<sup>2</sup>Professor MSc. do Curso de Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) – Criciúma – Brasil

panda@unesc.net, pjm@unesc.net

**Abstract.** Wireless networks are increasingly present in our lives and are constantly evolving. However, the signal range is usually quite limited and a way to increase this is by the application of mesh networks, with a broad range of routing protocols that are responsible for the data flow of the network. This paper talks about the performance evaluation of the proactive protocols Optimized Link State Routing and Better Approach To Mobile Adhoc Networking in a mesh network. The utilized methodology was composed of three scenarios, which were formed by the following metrics: bandwidth, jitter, throughput and lost datagrams, and an arithmetic mean is applied for each situation in a given scenario. The results indicates that the utilized protocols achieved similar performance. The performance difference

does not justify the application of a particular protocol over another, considering the proposed scenarios.

**Resumo.** *Redes sem fio estão cada vez mais presentes em nossas vidas e estão constantemente evoluindo. Entretanto, o alcance do sinal normalmente é bastante limitado e uma maneira de aumentar este alcance é por meio de redes mesh, com uma variada gama de protocolos de roteamento que são responsáveis pelo fluxo de dados dentro da rede. Este trabalho trata da avaliação de desempenho entre os protocolos proativos Optimized Link State Routing e Better Approach To Mobile Adhoc Networking em uma rede mesh. A metodologia utilizada foi a implementação de três cenários, onde foi avaliado as seguintes métricas: largura de banda, jitter, throughput e datagramas perdidos, sendo realizada uma média aritmética para cada situação dentro de um determinado cenário. Os resultados apresentados indicaram que os protocolos em questão obtiveram desempenho similar. A diferença de desempenho evidenciada não justificou o uso de determinado protocolo em detrimento de outro, considerando os cenários abordados.*

#### 1. Introdução

Cada vez mais se torna evidente a necessidade de estar interligado à grande rede, independente da forma como essa conexão é realizada. Pois é por meio da Internet que se torna possível facilitar a busca pelo aperfeiçoamento de processos, compartilhamento de

ideias, levando à diminuição da distância entre as pessoas. E dentre diversas formas de transmissão sem fio, o padrão IEEE 802.11, conhecido também como Wireless Fidelity (Wi-Fi), permite o acesso sem fio aos mais variados dispositivos e está muito presente no dia a dia da maioria das pessoas.

Redes mesh oferecem uma solução onde não há centralização, pois, os nós se comunicam de forma direta uns com os outros. Em casos que dois nós estejam fora de alcance mútuo, a comunicação é realizada em múltiplos saltos, sendo que o responsável pelo percurso dentro da rede é o protocolo de roteamento.

Todavia, a escolha do melhor caminho irá depender de fatores como a métrica utilizada pelo protocolo, como, por exemplo, a utilização de rotas com menores taxas de erros ou caminho mais curto.

Com a popularização das redes sem fio no Brasil, novos projetos tem sido formados, como GT-Mesh (<http://mesh.ic.uff.br>), que propõe disponibilizar mesh nas comunidades situadas ao redor do campi da Universidade Federal Fluminense. Devido ao custo reduzido de implantação e manutenção em relação a outras tecnologias, há uma maior viabilidade de implantação em escolas, bibliotecas, prefeituras, ou mesmo, interligação de uma cidade inteira. Inclusive, existem empresas como a Wayflex Telecom, que já dispõe de redes mesh para fins comerciais.

Segundo Silveira e Sabrina (2007), o governo e a sociedade têm se mobilizado para que a maior parte da população tenha acesso à tecnologia de informação e comunicação, criando espaços públicos para uso de computadores e acesso à Internet. Porém, prover acesso para toda a comunidade é um desafio constante.

Existe uma variada gama de protocolos de roteamento para redes mesh, sendo que estes utilizam métricas distintas para determinar as rotas de comunicação e, para tanto, há a necessidade de se optar por um protocolo. Tendo como base o presente trabalho, será apresentada uma avaliação de desempenho entre dois protocolos de roteamento, expondo suas características e obtendo resultados em diversos cenários que poderão facilitar a escolha de um determinado padrão a ser adotado na escolha de um protocolo de roteamento.

## **2. Redes**

O século XX foi, no campo da aquisição, processamento e distribuição de informações, onde houve as principais conquistas tecnológicas. Diversas áreas cresceram de forma impressionante, entre elas: telefonia, rádio, televisão e informática. Estas áreas convergem cada vez mais numa distância menor entre a coleta, transporte, armazenamento e processamento de informações. Por exemplo, uma empresa pode facilmente obter informações cruciais de suas filiais, ainda que estejam separadas por uma grande distância. Nossa capacidade de administrar informações está intimamente ligada com formas ainda mais sofisticadas para as processar (TANEMBAUM, 2011, tradução nossa).

### **2.1. Redes sem Fio**

Redes mesh são sistemas recentes de interligação auto organizáveis e auto configuráveis. Cada nó é capaz de estabelecer conexão e se empenha em manter a rede sempre ativa (AKYILDIZ; WANG, 2005).

As redes mesh são caracterizadas por seus principais nós possuírem uma localização fixa. Porém, podem existir nós sem uma localização predeterminada, diferenciando-se de redes ad hoc tradicionais. Há algumas características que tornam redes Mesh mais vantajosas, como por exemplo, a possibilidade de se utilizar caminhos alternativos, maior robustez, diminuição da potência dos nós e redução da necessidade de Line of Sight (LOS) (LUIZ; PRZYBYSZ, 2007).

### 3. Protocolo Optimized State Link Routing (OLSR)

O protocolo OLSR foi desenvolvido pela Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) e foi padronizado na Internet Engineering Task Force (IETF) como Experimental RFC 3626 (HU; LUO; ZHANG, 2007, tradução nossa). É um protocolo de roteamento proativo que utiliza o algoritmo link state, onde cada roteador armazena informações da topologia de toda a rede e as rotas para todos os nós estão continuamente disponíveis, independente da presença de tráfego (MISRA, S.; MISRA S. C.; WOUNGANG, 2009, tradução nossa).

### 4 BETTER APPROACH TO MOBILE ADHOC NETWORK (B.A.T.M.A.N.)

A primeira implementação do protocolo de roteamento B.A.T.M.A.N. chamava-se batmand, operando na camada 3 do modelo OSI por meio de alterações na tabela de roteamento (QUARTULLI, et al., tradução nossa).

Em 2007 alguns desenvolvedores começaram a testar a ideia de rotear na camada 2 do modelo OSI ao invés da 3. Devido ao pouco conhecimento sobre o assunto na época, o primeiro protótipo desenvolvido operava no espaço do usuário utilizando um daemon na camada 2. O sufixo “-Adv” foi escolhido para indicar sua diferenciação em relação ao protocolo B.A.T.M.A.N. original (QUARTULLI, et al., tradução nossa).

Ao se tratar de funcionalidades, um dos diferenciais deste protocolo refere-se a descentralização da informação de roteamento, então nenhum nó possui rotas para todos os destinos da rede. Ao invés disso, todo nó possui uma direção geral e o destino para o melhor nó vizinho, o nó vizinho funciona da mesma forma, seguindo sucessivamente até encontrar o destino final (HUNDEBØLL; LEDET-PEDERSEN, 2011, tradução nossa).

### 5. Métricas de Desempenho

Métricas de desempenho especificam as características do estado da rede sem fio durante os experimentos realizados. A seguir, as métricas de desempenho utilizadas no contexto desse projeto.

Varição de atraso (*jitter*) - A medição é calculada mediante a diferença do atraso entre dois pacotes. Esta distorção de tempo pode se tornar prejudicial ao tráfego multimídia, fazendo com que sinais de áudio e vídeo apresentem qualidade distorcida ou fragmentada na recepção. O cálculo é realizado de acordo com as especificações constantes no RFC 1889, sendo realizado pelo nó servidor.

Perda de datagramas - Um datagrama se refere a uma entidade de dados completa e independente contendo informações necessárias para ser encaminhada entre origem e destino (MALKIN, MARINE e REYNOLDS, 1994). O nó servidor identifica cada datagrama, sendo assim capaz de calcular a quantidade perdida durante a transmissão.

Largura de banda - É a capacidade de transmissão de dados, expressa habitualmente por kilobits por segundo (Kbps), megabits por segundo (Mbps) ou gigabite por segundo (Gbps).

Vazão: A quantidade de dados movidos de um nó da rede para outro em determinado período de tempo é denominado vazão. Pode-se dizer que a vazão determina a taxa de transferência efetiva de um sistema.

### 6. Escolha do Firmware e Hardware

A finalidade de um firmware é gerenciar o funcionamento de um determinado hardware. Existem diversas opções conhecidas e compatíveis com os mais variados equipamentos,

entretanto, é importante observar que o hardware utilizado poderá restringir a quantidade de funcionalidades disponíveis.

O firmware escolhido para implementação das redes mesh OLSR e B.A.T.M.A.N.-Adv foi o OpenWRT/Freifunk. O suporte a diversos dispositivos, possibilidade de compilação personalizada e a existência de uma derivação dedicada à criação de redes OLSR foram os fatores que motivaram a escolha.

O intuito do OpenWRT é permitir a sua customização, possibilitando a compilação de uma versão própria que englobe unicamente as funções desejadas, algo vantajoso quando se deseja realizar a instalação em dispositivos com pouca memória flash (4mb e, em casos extremos, 2mb).

Para a aplicação do protocolo B.A.T.M.A.N.-Adv optou-se por compilar uma versão própria (Attitude\_Adjustment rev 38621), retirando funções que não seriam utilizadas, tais como interface gráfica e demais protocolos de roteamento. A utilização do protocolo OLSR foi garantida por meio do firmware Freifunk customizado, que teve como base o OpenWRT (Attitude\_Adjustment rev 38445).

A escolha dos firmwares levou em conta a compatibilidade com o hardware utilizado, facilidade de implantação além da capacidade de trabalhar com protocolos de roteamento mesh.

A escolha inicial para realização dos testes com redes mesh incluía dois roteadores da marca Linksys, modelo WRT54G V3.0. Entretanto para utilização da firmware OpenWRT em sua versão mais atual (Attitude\_Adjustment 12.09), o roteador WRT54G não foi capaz de fornecer a performance desejada devido a baixa quantidade de RAM e frequência do chip Broadcom. Além disso, não há a possibilidade de implementar um Virtual Access Point (VAP), que é uma característica que poderá ser relevante ao se implantar redes mesh.

Para substituí-lo, o roteador escolhido foi o TP-Link WR841N por ser um roteador atual com características de hardware satisfatórios, além de fácil aquisição.

## **7. Ferramenta de Avaliação de Desempenho (*Iperf*)**

Esta é uma ferramenta de análise de largura de banda, vazão, jitter e perda de datagramas. Se não houver preocupações com o tráfego gerado, é possível utilizar este software como gerador simples de carga.

O uso do iperf permite utilizar tanto o protocolo UDP quando o TCP, podendo também gerenciar múltiplas conexões simultâneas. Somente utilizando o protocolo UDP foi possível obter os valores de jitter e perda datagramas.

Devido a flexibilidade apresentada pelo software do equipamento utilizado, é possível incluir esta ferramenta no próprio roteador.

## **8. Definição dos Cenários de Teste**

Na realização dos testes optou-se por utilizar 3 (três) cenários distintos, com o objetivo de avaliar o comportamento dos protocolos de roteamento em situações distintas (figura 1).

**Figura 1. Disposição dos roteadores mesh**



O roteador A ficou localizado na sala 4 do setor da biblioteca, enquanto o roteador B foi instalado no laboratório 15 (2º andar) do bloco XXI-A. A distância aproximada entre os dois pontos é mensurada em torno de 60 metros. O roteador C ficou instalado no laboratório 9 (1º andar) do bloco XXI-A, estando na área de abrangência do roteador B, não tendo visada com o roteador A, somente roteador B.

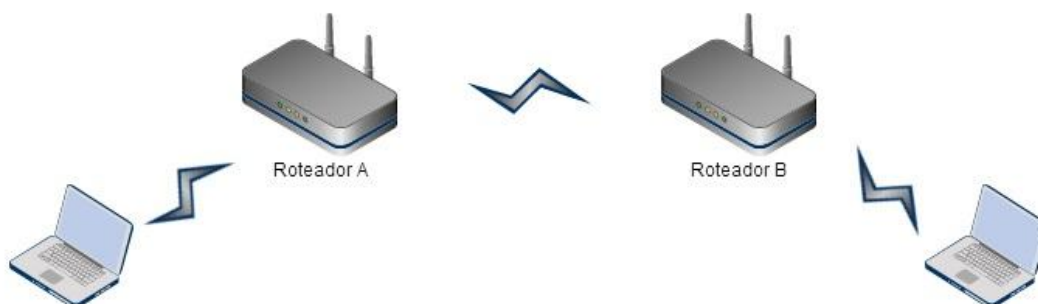
O primeiro cenário de testes considerou unicamente os roteadores A e B, realizando a comunicação direta entre ambos conforme pode ser observado na figura 2.

**Figura 2. Cenário 1**



Já o segundo cenário (figura 3) introduziu na rede dois clientes conectados aos roteadores por meio da rede sem fio em modo *access point* criada pela utilização de um VAP no hardware e *firmware* utilizados.

**Figura 3. Cenário 2**



Buscando uma diferenciação em relação ao primeiro cenário e também se aproximar de uma situação comum em redes mesh, o cenário três apresenta três roteadores. Os nós foram dispostos de tal forma que a comunicação entre A e C se tornou possível apenas por meio do nó B (figura 4).

**Figura 4. Cenário 3**



## 9. Resultados Obtidos

Cada teste foi repetido 3 vezes para realizar o cálculo da média de desempenho do protocolo em determinada situação. As seguintes taxas de transferência foram utilizadas para as medições: 6 Mbps, 18 Mbps, 36 Mbps, 54 Mbps e 150 Mbps.

Para tanto, a ferramenta iperf foi executada em um dos roteadores em modo servidor, utilizando o comando "iperf -s -u" para operação com conexões UDP, como mostra a figura 25.

No nó de destino, a sintaxe utilizada para execução foi: "iperf -c IP\_SERVIDOR -b Xm -t 15 -u", onde X representa a largura de banda a ser utilizada e 15 definido como tempo total de cada teste. Um exemplo de uso deste comando é encontrado na figura 26.

Eis as médias dos resultados obtidos em cada cenário:

**Tabela 1. Resultados OLSR no cenário 1 – Média**

Taxa Nominal (Mbps/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbps/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	5,99	0,490	0,026%
18m	31,2	17,43	0,408	0,388%
36m	62,33	34,8	0,397	0,283%
54m	86,86	48,53	0,376	0,863%
150m	171,66	96,13	0,206	4%

**Tabela 2. Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 1 – Média**

Taxa Nominal (Mbps/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbps/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,26	5,76	0,138	4,33%
18m	29,23	16,33	1,516	9,2%
36m	60,16	33,66	0,884	6,6%
54m	94,2	52,73	1,131	2,33%
150m	134,33	75,1	0,943	0,6%

**Tabela 3. Resultados OLSR no cenário 2 – Média**

Taxa Nominal (Mbps/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbps/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,56	5,91	0,622	0,052%
18m	32,06	17,9	1,27	0,563%
36m	35,83	19,73	1,441	0,427%
54m	27,8	15,3	1,073	1,727%
150m	29,3	16,2	1,475	3,94%

**Tabela 4. Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 2 – Média**

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	6	0,771	0,05%
18m	31,63	17,7	1,213	0,413%
36m	35,23	19,6	1,382	0,521%
54m	34,86	19,36	1,461	2,17%
150m	32,2	17,86	1,672	4,82%

**Tabela 5. Resultados OLSR no cenário 3 – Média**

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	5,99	1,01	0,013%
18m	31,6	17,4	0,927	1,07%
36m	55,5	30,2	0,956	1,87%
54m	60,06	33	1,564	1,93%
150m	71,5	39,1	0,95	2,83%

**Tabela 6. Resultados B.A.T.M.A.N.-Adv no cenário 3 – Média**

Taxa Nominal (Mbits/sec)	Transferência Total (Mbytes)	Largura da Banda (Mbits/sec)	Jitter (ms)	Porcentagem de Datagramas Perdidos
6m	10,7	6	1,205	0,122%
18m	31,9	17,9	0,847	3,172%
36m	56,3	31,1	0,935	2,54%
54m	65,1	36,1	1,109	2,31%
150m	73	40,03	1,186	2,81%

## 10. Conclusão

O estudo consistiu no funcionamento das redes sem fio mesh e seus protocolos, em especial do Optimized Link State Routing (OLSR) e Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking (B.A.T.M.A.N.-Adv), que foram analisados e submetidos a baterias de testes para avaliar seu comportamento em determinados cenários.

Observando os resultados obtidos no primeiro cenário, constatou-se que os protocolos se saíram melhor em situações distintas. O OLSR atingiu uma maior taxa de transferência em uma ocasião em particular e obteve uma menor taxa de jitter. Todavia, enquanto a taxa de transferência subia, a quantidade de datagramas perdidos aumentava.

B.A.T.M.A.N.-Adv agiu de forma contrária em relação aos datagramas perdidos, marcando resultados mais estáveis a medida que a largura de banda aumentou.

No cenário 2, notou-se uma queda de desempenho, onde a largura de banda não excedeu a taxa de 22Mbps/sec em nenhum dos testes, como pode ser observado na figura 30. Porém, os resultados referentes ao *jitter* e porcentagem de pacotes perdidos não sofreram avarias significativas, mas concederam uma pequena vantagem ao protocolo OLSR.

Esse resultado refletiu não somente o impacto gerado pela inserção de transmissão sem fio entre roteador e cliente, mas também demonstrou que a taxa de transferência pode ser afetada por consequência da utilização de um VAP, visto que uma rede sem fio que opere com um padrão atual poderá sofrer degradação de performance com a presença de aparelhos que ainda operem em padrões mais antigos.

O terceiro cenário gerou resultados similares aos obtidos no primeiro. Verificou-se que a taxa de transferência encontrou seu pico em torno de 40Mbps. A queda de velocidade foi, de certa forma, esperada devido as condições do teste, pois, todo o tráfego foi retransmitido pelo nó intermediário. Os demais valores apresentaram valores satisfatórios.

Ao realizar o estudo entre os dois protocolos, observou-se que, apesar de possuírem características distintas, não foi possível firmar a existência de um protocolo que se sobressaia em relação dentro dos cenários propostos.

## 11. Referencias

- Boulic AKYILDIZ, I F., WANG, X.; WANG, W. Wireless Mesh Networks: a survey. Philadelphia, USA. Elsevier, 2004.
- HU, Honglin; LUO, Jijun; ZHANG, Yan. Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards. Boca Raton, USA. Auerbach, 2007.
- HUNDEBØLL, Martin; LEDET-PEDERSEN, Jeppe. Inter-Flow Network Coding For Wireless Mesh Networks. Disponível em: <<http://mobiledev.lab.es.aau.dk/attachments/3/master.pdf>> Acesso em: 21 set. 2013.
- MALKIN, Gary S.; MARINE, April N.; REYNOLDS, Joyce K. RFC 1594: Answers to Commonly asked "New Internet User" Questions. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc1594>> Acesso em: 08 jun. 2014.
- MISRA, Sudip; MISRA, Subhas C.; WOUNGANG, Isaac. Guide to Wireless Mesh Networks. London, UK: Springer-Verlag, 2009.
- PRZYBYSZ, André Luiz; LUIZ JÚNIOR, Olavo José. Infra-estrutura e Roteamento em Redes Wireless Mesh. Disponível em: <<http://www.olavo.eti.br/2008/UTFPR/SynergisusScyentificaUTFPR-WMN.pdf>> Acesso em: 17 set. 2011.
- QUARTULLI, Antonio. et al. Open-mesh: Branches Explained. Disponível em: <<http://www.open-mesh.org/projects/open-mesh/wiki/BranchesExplained>> Acesso em: 21 set. 2013.
- SILVEIRA, Sabrina Silva. Formação à distância para Educadores Sociais: promovendo a interação para construção de um saber partilhado. Disponível em: <<http://www.pensamentodigital.org.br/files/TCC%20Sabrina%20Silveira%20EADRS04%20v1.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2011.
- TANEMBAUM, Andrew S., WETHERALL, David J.. Computer Networks. 5. ed. Boston, Massachusetts: Pearson, 2010.