



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
TECNÓLOGO EM REDES DE COMPUTADORES**

FERNANDO PESSOA OLIVEIRA DE SOUSA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE
MESH SEM FIO**

**QUIXADÁ
2016**

FERNANDO PESSOA OLIVEIRA DE SOUSA

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE MESH SEM FIO

Monografia apresentada ao curso de Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel/Tecnólogo em Redes de Computadores. Área de concentração: Computação.

Orientador: Prof. Msc. Michel Sales Bonfim

QUIXADÁ
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca do Campus de Quixadá
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S696a Sousa, Fernando Pessoa Oliveira de
 Análise de Viabilidade de Implantação de uma Rede Mesh sem Fios / Fernando Pessoa
 Oliveira de Sousa – 2016.
 67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de
Quixadá, Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2016.
Orientação: Prof. Me. Michel Sales Bonfim

1. Redes de Computadores. 2. Sistemas de transmissão de dados. 3. Redes locais de computadores.
I. Título.

CDD 004.6

FERNANDO PESSOA OLIVEIRA DE SOUSA

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE MESH SEM FIO

Monografia apresentada ao curso de Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel/Tecnólogo em Redes de Computadores. Área de concentração: Computação.

Orientador: Prof. Msc. Michel Sales Bonfim

Aprovado em: _____ / dezembro / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Michel Sales Bonfim (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. MSc. Marcos Dantas Ortiz
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. MSc. Alisson Barbosa de Souza
Universidade Federal do Ceará-UFC

Aos meus pais, Francisco Clério de Sousa e Betânia Bezerra de Oliveira, irmã, Fernanda
Pessoa Oliveira de Sousa, e esposa, Grazielle Lemos de Araújo
pelo incentivo e apoio ao longo desta jornada....

AGRADECIMENTOS

Ao professor Michel Sales Bonfim pela orientação, paciência, esforço e dedicação.

Aos amigos que fiz na UFC durante estes anos, pelo apoio e amizade. Em especial, à turma do curso de Redes de Computadores.

À todos os professores que tive a honra de conhecer durante o curso de Redes de computadores na UFC Quixadá, por sua dedicação e comprometimento.

À minha família, que sempre me incentivou à buscar conhecimento e me deu força para realizar este sonho.

Aos meus amigos que me ajudaram na realização dessa conquista.

À minha esposa Grazielle Lemos de Araújo pelo incentivo e dedicação.

"Vencer a si próprio é a maior das vitórias"
(Platão)

RESUMO

As redes locais cabeadas (LAN) padrão IEEE 802.3 são uma alternativa atraente quando se trata de desempenho e confiabilidade na entrega dos dados transmitidos. Entretanto, redes que necessitam de infraestrutura ainda são muito caras para a maioria da população, pois nem todo mundo tem acesso aos equipamentos necessários para criar este tipo de infraestrutura. A Rede *Mesh* sem Fio (RMF) permite integrar vários pontos de acesso, de maneira que possam proporcionar uma área de cobertura mais ampla em relação as redes sem fio comuns. Este trabalho visa a instalação de redes *wireless mesh*, para reduzir o custo de implantação de infraestrutura física, sem perda significativa de desempenho. Para tal, propomos o uso de uma solução de roteamento de camada 2 que utiliza métricas de qualidade de transmissão (QT) com o protocolo B.A.T.M.A.N.-adv em conjunto com uma rede *mesh* de baixo custo para que haja economia de tempo e dinheiro na montagem, instalação e manutenção de redes locais.

Palavras chave: Redes Mesh. Redes *Ethernet*. B.A.T.M.A.N.-adv.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Topologias Físicas	21
Figura 2	Modelo de topologia de uma rede <i>mesh</i>	22
Figura 3	Mecanismo de roteamento do protocolo DSDV	23
Figura 4	Processo de descoberta de vizinhos do OLSR	24
Figura 5	Processo de descoberta de rota DSR	25
Figura 6	Processo de descoberta de rota AODV	25
Figura 7	Funcionamento do ZRP	26
Figura 8	Funcionamento do B.A.T.M.A.N.	27
Figura 9	Exemplo de MANET simples.	29
Figura 10	Posicionamento dos nós do cenário com 10 metros	30
Figura 11	Posicionamento dos nós do cenário com 15 metros	30
Figura 12	Posicionamento dos nós do cenário com 20 metros	31
Figura 13	Posicionamento dos nós do cenário com 25 metros	32
Figura 14	Roteador <i>wireless</i> TP-LINK TL-WR740N.	33
Figura 15	Cenário com único salto na rede <i>mesh</i>	35
Figura 16	Cenário de múltiplo salto na rede <i>mesh</i>	36
Figura 17	Cenário cabeado utilizado	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Largura de banda (<i>Bandwidth</i>) da rede	46
Gráfico 2	Varição do atraso (<i>Jitter</i>) da rede	49
Gráfico 3	Perda de pacotes da rede	52
Gráfico 4	Latência da rede	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Algumas tecnologias <i>Ethernet</i>	20
Tabela 2 – Configurações do computador de mesa do laboratório	33
Tabela 3 – Configurações do <i>laptop</i>	34
Tabela 4 – Fatores e níveis	40
Tabela 5 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros	43
Tabela 6 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros	43
Tabela 7 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros	44
Tabela 8 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros	44
Tabela 9 – Largura de banda da rede cabeada	45
Tabela 10 – <i>Jitter</i> da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros	47
Tabela 11 – <i>Jitter</i> da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros	47
Tabela 12 – <i>Jitter</i> da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros	48
Tabela 13 – <i>Jitter</i> da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros	48
Tabela 14 – <i>Jitter</i> da rede cabeada	48
Tabela 15 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros	50
Tabela 16 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros	50
Tabela 17 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros	51
Tabela 18 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros	51
Tabela 19 – Perda de pacotes da rede cabeada	51
Tabela 20 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros	53
Tabela 21 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros	53
Tabela 22 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros	54
Tabela 23 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros	54
Tabela 24 – Latência da rede cabeada	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	16
	2.1 Objetivos Específicos	17
3	TRABALHOS RELACIONADOS	17
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
	4.1 Redes <i>Ethernet</i>	19
	4.2 Redes <i>Mesh Sem Fio</i>	21
	4.2.1 <i>Pró-ativos</i>	22
	4.2.1.1 <i>DSDV</i>	22
	4.2.1.2 <i>OLSR</i>	23
	4.2.2 <i>Reativos</i>	24
	4.2.2.1 <i>DSR</i>	24
	4.2.2.2 <i>AODV</i>	25
	4.2.3 <i>Híbridos</i>	26
	4.2.3.1 <i>ZRP</i>	26
	4.3 <i>B.A.T.M.A.N.-adv</i>	26
	4.4 Redes <i>Ad Hoc</i>	28
5	PLANEJAMENTO E REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	29
	5.1 Local de Testes	30
	5.2 Equipamentos Utilizados.....	32
	5.2.1 <i>Roteador Wireless</i>	32
	5.2.2 <i>Computadores</i>	33
	5.2.3 <i>Cabeamento</i>	34
	5.3 Pré Configuração dos Nós	34
	5.4 Cenários.....	35
	5.4.1 <i>Cenário B.A.T.M.A.N.-adv</i>	37
	5.4.2 <i>Cenário Cabeado</i>	38
	5.5 Seleção das Métricas	38
	5.5.1 <i>Latência</i>	38
	5.5.2 <i>Perda de pacotes</i>	38
	5.5.3 <i>Largura de banda</i>	39
	5.5.4 <i>Jitter</i>	39
	5.5.5 <i>Fatores</i>	39
	5.6 Geradores/Analisadores de Tráfego Utilizados.....	40
	5.6.1 <i>IPERF</i>	40
	5.6.2 <i>FPING</i>	41
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
	6.1 Bandwidth	42
	6.2 Jitter	46

6.3	Perda de Pacotes	50
6.4	Latência	53
7	DISCUSSÃO	56
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	64
	APÊNDICE A – Script para filtragem de dados gerados pelo IPERF.	64
	APÊNDICE B – Script para filtragem de dados gerados pelo FPING.....	65
	APÊNDICE C – Script para inicialização e redirecionamento de <i>log</i> do servidor.	66
	APÊNDICE D – Script para inicialização dos clientes IPERF.	67

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, vivemos em um mundo completamente conectado, tal que em qualquer lugar aonde vamos é necessário algum meio de conectividade. Foi pensando nessas situações que foram desenvolvidas diversas tecnologias que facilitam o acesso à *Internet*.

Devido ao aumento da utilização da *Internet*, a necessidade de se oferecer bons serviços fica cada vez mais evidente. Nos dias de hoje é muito importante que se tenha qualidade na transmissão de dados, e para tanto são necessários investimentos em soluções que ofereçam uma boa confiabilidade na entrega dos dados e de baixo custo (SA365, 2016). A rede local cabeada (LAN) padrão IEEE 802.3 é uma alternativa atraente quando se trata de desempenho e confiabilidade na entrega dos dados transmitidos, porém, redes que necessitam de infraestrutura ainda são muito caras para a maioria da população, pois nem todo mundo tem acesso aos equipamentos necessários para criar uma rede com infraestrutura (SAADE, 2007). Devido à dificuldade na instalação e a baixa mobilidade deste tipo de rede, o custo da rede local cabeada torna-se elevado, e para tanto existem outros tipos de rede que podem ser uma opção mais barata, de fácil instalação e gerenciamento, que oferecem um desempenho semelhante ao das redes cabeadas, as redes locais sem fio (WLAN).

Embora as redes sem fio ofereçam uma solução de fácil acesso e de um desempenho razoável, tornou-se mais complexo lidar com redes, de modo que problemas inexistentes nas redes cabeadas surgem nesse tipo de tecnologia, como: degradação de largura de banda, interferência eletromagnética, alta taxa de perda de pacotes devido às colisões, erros e segurança (LEGBMAN, 2005).

Muitas pesquisas foram realizadas com o objetivo de melhorar a operação destes tipos de redes. Como consequência, foram desenvolvidas soluções variadas de redes sem fio, específicas para determinadas aplicações. Dentre vários tipos de redes sem fio, destacam-se: as redes de sensores sem fio, que podem ser utilizadas para o monitoramento de fenômenos do mundo físico (CUNHA et al., 2013), as redes *bluetooth* que são utilizadas para prover uma rede de área pessoal, destinada a substituir os cabos que conectam diversos tipos de dispositivos (BLUETOOTH, 2014), as redes *mesh* sem fio, que são destinadas à lugares isolados, com deficiência energética, e sem infraestrutura (LEJBMAN, 2005), além das redes *ad hoc* que, de acordo com Alotaibi e Mukherjee (2012), são redes sem infraestrutura, que promovem conectividade entre os nós utilizando uma comunicação sem fio de múltiplos saltos. O paradigma de redes *ad hoc* é bastante utilizado em outros tipos de rede, como as

Redes *Mesh* sem Fio (RMF), que apesar de ser uma rede que possui infraestrutura, herdou algumas características das redes *ad hoc*, como o roteamento de múltiplos saltos.

A Rede *Mesh* sem Fio (RMF) utilizam a tecnologia WiFi IEEE 802.11s (IEEE, 2006), permitindo integrar vários pontos de acesso, de maneira que possam proporcionar uma área de cobertura mais ampla em relação as redes sem fio comuns. As Redes *Mesh* sem Fio foram pensadas para prover uma rede barata se comparado à implantação de uma rede cabeada. Essa tecnologia se adapta bem em ambientes isolados, de relevo irregular, sem infraestrutura de telefonia ou *Internet* (previamente configurada) e com deficiência energética. Ela se utiliza de uma topologia em malha onde todos os nós conhecem seus vizinhos e podem se comunicar diretamente ou por intermédio de um nó que seja vizinho de ambos para rotear a comunicação. De acordo com Akildiz, Wang e Wang (2012), esse tipo de rede tem diversas vantagens como: arquitetura distribuída, onde todos os nós da rede se conhecem, custo de implementação baixo, simplicidade de utilização e robustez (no caso de algum nó da rede falhar, uma vez que a rede irá se adaptar).

Este trabalho visa a instalação de redes wireless *mesh*, para reduzir a implantação de infraestrutura física sem perda significativa de desempenho. Para tal, propomos o uso de uma solução de roteamento de camada 2 com o protocolo B.A.T.M.A.N.-adv, que de acordo com OpenMesh (2016), trata o nó da rede como switch virtual, fazendo com que todos os nós pareçam ser *link* local e não serem afetados por mudanças na rede, em conjunto com uma rede *mesh* de baixo custo para que haja economia de tempo e dinheiro na montagem, instalação e manutenção de redes locais.

O restante do texto está organizado da seguinte forma. Na seção 2, serão abordados os objetivos gerais e específicos do trabalho. Na seção 3 serão apresentados os trabalhos relacionados deste projeto. Na seção 4 são abordados os principais conceitos para um bom entendimento do artigo. A seção 5 apresenta o planejamento e realização dos experimentos. A seção 6 apresenta a análise dos resultados do projeto. A seção 7 apresenta discussão do trabalho. Por fim, a seção 8 apresenta as considerações finais do trabalho.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é comparar uma solução de rede *mesh* sem fios utilizando o protocolo B.A.T.M.A.N.-adv, em relação a redes cabeadas no processo de interligação de redes locais.

2.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral desse trabalho, é necessário que se alcance os objetivos listados abaixo:

- Identificar a viabilidade de implantação de uma rede *mesh* sem fios;
- Analisar desempenho da rede *mesh* de acordo com as métricas de QoS;
- Comprovar a eficiência da rede *mesh* sem fio implementada.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Em Saade et al. (2007), é proposta a implementação de uma rede *mesh* sem fio de baixo custo para reduzir o problema causado pelo alto custo das LANs comuns e soluções *mesh* privadas. O trabalho realiza a implementação real de uma rede *mesh* utilizando o protocolo OLSR modificado para utilizar as rotas com menos conexões, a fim de garantir uma melhor taxa de perda de pacotes, vazão e atraso. Para realizar tal feito, eles utilizaram equipamentos de preço mediano, juntamente com a plataforma baseada em *Linux* OpenWRT que também foi modificada. Apesar de obterem uma rede *mesh* funcional, o trabalho não considerou utilizar um roteamento camada 2 como o utilizado neste trabalho, isso reduziria a sobrecarga de processamento de pacotes na CPU, que permitiria obter resultados ainda melhores que os produzidos pelo protocolo de camada 3 utilizado por eles, assim como não optaram por utilizarem equipamentos de baixo custo, para baratear ainda mais os custos de implantação da rede.

Em Sheiter, Konig e Hollick (2011) é proposto uma análise de desempenho em um ambiente *mesh* prático do protocolo B.A.T.M.A.N.-ADV (B.A.T.M.A.N.-advanced), em relação ao amplamente utilizado AODV. Em geral foi estudada a acessibilidade da rede, a taxa de transferência, perda de pacote e atraso. Foram realizados testes com a ferramenta IPERF para obter os valores das métricas acima. O trabalho foi dividido em duas partes visando saber se a rede se comportaria melhor com um nó intermediário entre os pisos do prédio ou sem o nó intermediário com todos os nós em um único piso, mas podendo apenas estabelecer rotas para o vizinho de maior intensidade de sinal. Em ambos os cenários observou-se que o B.A.T.M.A.N.-adv lidou melhor com roteamento a distancias mais longas e que obteve taxas de transferências maiores que o AODV, podendo trabalhar bem em ambientes com mais interferência. Porém, deixou-se de considerar a funcionalidade dos

mesmo com relação a aplicações sensíveis ao atraso, também não houve comparação de custo benefício com relação a redes cabeadas. Neste trabalho, implementamos uma rede mesh sem fios com roteadores de baixo custo, e não notebooks adaptados, como o trabalho citado. Também abordamos, além das métricas utilizadas acima, o *jitter*, que é muito importante para aplicações multimídia, que reflete a variação do atraso, sendo assim, não foi mostrado se os protocolos oferecem serviços adequados a esse tipo de aplicação.

Em Oda et al. (2015), foi implementado um *testbed indoor* WMN onde foi analisado o desempenho do protocolo OLSR considerando um cenário de propagação das ondas eletromagnéticas (LoS). No trabalho foram avaliadas a taxa de transferência a razão de entrega de pacotes (PDR), a contagem de saltos, e métricas de atraso e *jitter*. A configuração de potência do sinal foi feita igualmente para todos os pontos de acesso (APs), para que pudesse garantir um raio de cobertura igual a distância geográfica máxima permitida pela rede. Além disso, os pontos de acesso sofreram interferência durante os testes, pois praticamente todo o espectro IEEE 802.11 estava sendo utilizado por outros APs espalhados no ambiente de testes. Os pontos de acesso utilizados nos experimentos eram compostos por cinco Raspberry Pi, que tinham como *software* embarcado o OpenWRT. Para o teste foi configurada a ferramenta IPERF com apenas um fluxo constante (CBR) da origem ao destino. Nosso trabalho analisou cenários diferentes e com vários fluxos, com o intuito de analisar o desempenho da rede com múltiplos clientes, variando a distância entre os nós da WMN.

No trabalho de Cerdà-Alabern, Neumann e Escrich (2013), é realizada uma avaliação experimental de uma rede em malha sem fios localizada em um laboratório da Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Esta rede chama-se *quick mesh Project* (QMP), e é formada por nós no modo *ad hoc* que trazem um OpenWRT modificado como sistema operacional embarcado e utiliza o protocolo BMX6 para realizar o roteamento entre os nós da rede. Na avaliação foram obtidas métricas para avaliar seu desempenho, como a taxa de transferência da rede e disponibilidade dos nós. Neste trabalho, foram consideradas outras métricas importantes, como atraso, *jitter* e perda de pacotes, também foi levado em consideração a redução do custo dos nós da rede, visando a redução do custo agregado da rede sem que houvesse a perda do desempenho.

Por último, no trabalho de Cheng et al. (2015) foi proposta uma implementação de arquitetura para redes em malha sem fios. Os testes foram realizados em duas etapas, a primeira parte consistiu em uma simulação com a ferramenta NS-3 (*Network Simulator 3*) que serviria como base para implementação real da nova arquitetura. A segunda parte do

teste foi a implementação real de uma rede em malha sem fios (RMF) com nós construídos pela equipe que custou aproximadamente U\$ 90 (Noventa Dólares) cada que utilizava o protocolo híbrido HWMP. Os nós da rede tinham como sistema operacional embarcado o Linux 2.6. Para simular tráfego de utilização de uma LAN foram utilizadas as ferramentas Dukto e VLC, e para os testes de geração de tráfego foram utilizadas as ferramentas IPERF, Wireshark e Ixchariot. Na análise dos dados foram considerados a taxa de transferência, taxa de acesso e atraso. Diferente de Cheng et al. este trabalho realiza roteamento na camada 2 e utiliza o OpenWRT, que permitem uma maior flexibilidade de aplicações e desempenho de rede.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão apresentadas nessa seção os conceitos de Redes *Mesh* Sem Fio, Redes *Ad hoc*, Redes de Computadores, B.A.T.M.A.N.-adv, Redes *Ethernet*.

4.1 Redes *Ethernet*

Segundo Tanenbaum (4ª Edição), as redes *Ethernet* são as redes locais mais utilizadas no momento. A primeira rede *Ethernet* surgiu com Bob Metcalfe e David Boggs em 1976 e utilizava como meio de transmissão um cabo coaxial grosso de até 2,5 Km e que continha repetidores a cada 500 metros que podia suportar até 256 hosts conectados a rede simultaneamente através das interfaces multiponto do cabo. O sistema funcionava a 2,94 Mbps.

A *Ethernet* contava com um mecanismo de prevenção de colisão, conhecido como CSMA/CD, que analisava o cabo para saber se o meio estava ocupado para só então transmitir, evitando possíveis colisões, porém o problema ainda persistia caso dois ou mais computadores transmitissem ao mesmo tempo após o término de uma transmissão (ZUCCHI e AMÂNCIO, 2014). O problema em questão foi resolvido fazendo cada computador escutar a rede durante sua transmissão, e caso detectasse alguma interferência, este avisava a todos os transmissores, e então cada um deles esperava um tempo aleatório para retomar a transmissão. Caso a colisão voltasse a acontecer, o tempo de espera era dobrado, até que as transmissões ocorram em separado. A rede *Ethernet* mostrou-se tão eficaz, que em 1978 foi criado um padrão *Ethernet* de 10 Mbps, o DIX. Após pequenas alterações no DIX surgiu o padrão IEEE 802.3 em 1983. As redes *Ethernet* evoluíram ao longo dos anos, surgindo versões novas a 100, 1000 Mbps.

As redes *Ethernet* evoluem em múltiplos de dez, em relação a sua taxa de transmissão, e podem ser classificadas de acordo com seus nomes técnicos, existem diversos nomes dados a tecnologia *Ethernet*, como 10BASE-T, 100BASE-TX 1000BASE-T, 10GBASE-T, etc. que utilizam cabos de par-trançado, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 1 – Algumas tecnologias *Ethernet*.

Ano	Nome Comercial	Nome Técnico	IEEE
1990	<i>Ethernet</i>	10BASE-T	802.3
1995	Fast- <i>Ethernet</i>	100BASE-TX	802.3u
1999	Gigabit- <i>Ethernet</i>	1000BASE-T	802.3ab
2006	10GbE	10GBASE-T	802.3an

Fonte: elaborada pelo autor.

Segundo Tanenbaum (2003, p.16) a expressão "rede de computadores" quando quisermos mencionar um conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia. As redes de computadores podem ser classificadas pelo seu tamanho geográfico, tecnologias utilizadas e topologias. Os tamanhos geográficos das redes definem a abrangência em quilômetros que cada uma ocupa, tendo as LANs, MANs e WANs. Cada tipo de rede detém sua topologia, que é o desenho da rede, seja ele lógico ou físico. As topologias utilizadas na transmissão das redes dependem muito do tipo de tecnologia *Ethernet* e o cabeamento utilizado para tal, como vimos na sessão acima, que funcionam em velocidades que variam de 10 Mbps a 10Gbps As LANs mais modernas, por exemplo, operam em até 10 Gbps.

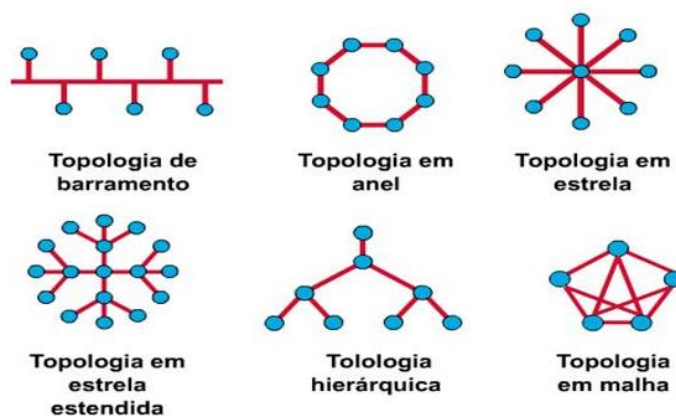
Ainda segundo Tanenbaum (4ª Edição) as redes locais LANs são redes privadas que contém até alguns quilômetros de extensão amplamente utilizadas para conectar computadores de empresas e escritórios a fim de realizar o compartilhamento de recursos de rede, como impressoras. A conexão de uma rede de computadores não precisa ser feita apenas por cabos de fio de cobre, também podem ser utilizadas fibras ópticas, microondas, ondas de infravermelho e até satélite de comunicações.

As LANs *Ethernet* podem ser classificadas de acordo com sua topologia, existem diversos tipos de topologias de redes, como barramento, anel (*TokenRing*), estrela, árvore ou hierárquica, híbrida e malha como mostra a imagem abaixo.

A figura 1 mostra as diversas topologias físicas que podem ser utilizadas em uma rede de computadores, como barramento, onde todos os computadores partilham de um

mesmo barramento de comunicação, anel, onde os nós da rede estão ligados em série formando um desenho circular, estrela, onde um dispositivo central gerencia as conexões entre os computadores, estrela estendida, onde os nós finais de uma topologia em estrela atuam como dispositivos centrais de sua própria topologia estrela, hierárquica, que se caracteriza por um dispositivo central possuir várias ramificações, e a topologia em malha, que tem como característica a formação de uma malha de conexões que interligam os dispositivos da rede.

Figura 1 – Topologias físicas.
Topologias físicas



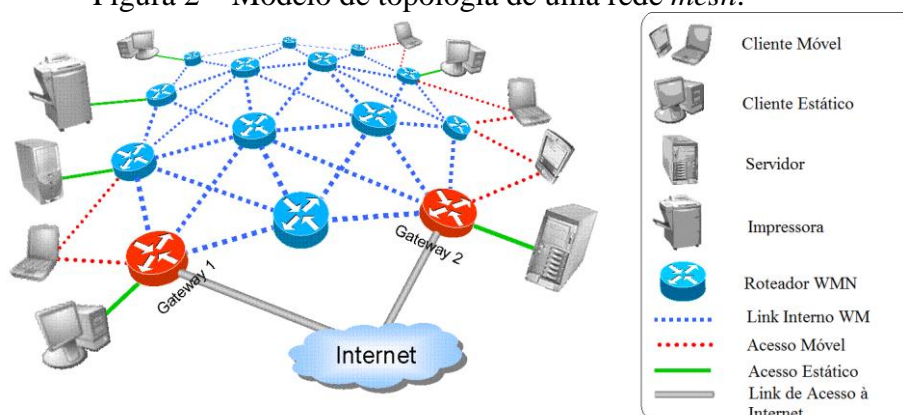
Fonte: (http://www.al.es.gov.br/appdata/imagens_news/rede.htm)

4.2 Redes *Mesh* Sem Fio

As redes *mesh* sem fio utilizam o padrão 802.11s e permitem a interconexão de vários pontos de acesso entre si a fim de proporcionar uma ampla área de cobertura (IEEE, 2006). Esse tipo de rede tem seu *backbone* muitas vezes estático e de conectividade sem fio. Uma rede *mesh* é composta por *gateways mesh* (WMG), roteadores *mesh* (WMR) e clientes *mesh* (Ver Figura 2). Essa rede pode se tornar operável com apenas um nó *gateway* conectado à uma infraestrutura e compartilhando *Internet* com os outros nós, o que reforça um dos princípios da rede, que é o baixo custo.

O modelo de arquitetura das redes *mesh* sem fio será utilizada na fundamentação da solução, cujas funcionalidades, características e comportamento serão implementadas. A figura 2 mostra um modelo de topologia de rede *mesh*, onde os roteadores na cor azul atuam como *mesh routers*, fornecendo conectividade aos clientes da rede, e os roteadores na cor laranja atuam como *gateway* da rede, recebendo a conexão da *internet* e distribuindo entre os nós da rede.

Figura 2 – Modelo de topologia de uma rede *mesh*.



Fonte: (<http://www.ece.ncsu.edu/wireless/>).

As redes *mesh* sem fios utilizam protocolos de comunicação variados, que são escolhidos pelo administrador de rede baseado em como ele quer que a rede se comporte. Eles podem ser do tipo vetor de distância (*Distance Vector* - DV) e podem ser do tipo de estado de enlace (*Link-State* - LS) (KUROSE; ROSS, 2009). Esses protocolos são classificados em grandes grupos: os pró-ativos, os reativos e os híbridos. Existem diversos protocolos em cada grupo, cada um deles tem uma característica específica, mas sem deixar de lado as características básicas desse tipo de protocolo.

4.2.1 Pró-ativos

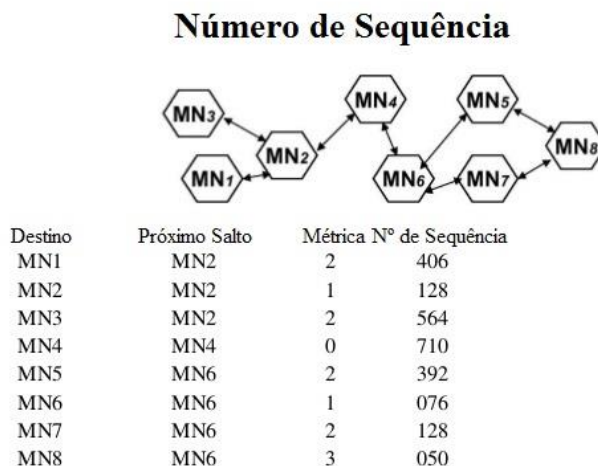
Os pró-ativos fazem com que os nós da rede mantenham a rota de todos os destinos para que quando houver alguma solicitação de envio de mensagem possa-se usar a rota imediatamente, porém isso pode causar um aumento no *overhead* de pacotes de controle na rede (FARIAS, 2008). Dentre os pró-ativos, temos o exemplo do DSDV e do OLSR.

4.2.1.1 DSDV

O protocolo DSDV é baseado no algoritmo de vetor de distância e usa juntamente com esse algoritmo uma implementação de números sequenciais. As tabelas de roteamento são atualizadas quando o nó recebe as informações dos seus vizinhos e este, por sua vez, compara a sequência de números: se o recebido for mais recente, a atualização é consolidada (MORAES, XAUD, XAUD, 2009).

A figura 3, mostra como funciona o mecanismo de roteamento do DSDV, onde o nó mantém uma tabela de roteamento, através das informações fornecidas pelos vizinhos contendo o próximo salto para o destino.

Figura 3 – Mecanismo de roteamento do protocolo DSDV.



Fonte: (<http://pt.slideshare.net/SenthilKanth/dsdv-dsr-aodvtuto>).

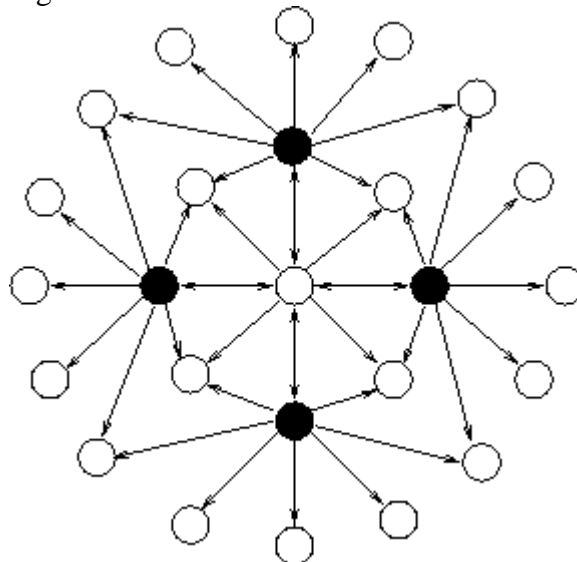
4.2.1.2 OLSR

O protocolo OLSR baseia-se no algoritmo de estado de enlace. A principal função dele é limitar o número de nós na rede que envia os estados do enlace, com o propósito de eliminar as mensagens redundantes. Para isso, ele utiliza uma técnica chamada MPR (*MultiPoint Relay*). Para explicar melhor essa técnica, vamos utilizar o exemplo uma rede *Ad hoc* que não utiliza o protocolo OLSR. Nesse caso, ao receber um pacote de controle, o nó normalmente reenvia os dados aos vizinhos. Com isso, acontece um fenômeno na rede chamado de “inundação” (*flooding*), já que todos os nós da rede receberam os pacotes. Porém cada nó receberá de diferentes vizinhos o mesmo pacote, gerando o que é chamado de *overhead*, ou seja, a rede funcionará sobrecarregada de informações redundantes.

Com a adoção do OLSR, o número de nós que retransmitirão os pacotes será limitado, ou seja, entre os nós da rede, haverá aqueles que serão denominados MPR. A escolha dos nós MPR será feita por um consenso entre os vizinhos que estão a um *hop* (um salto de distância). Então, quando uma informação precisar ser atualizada na rede, somente os nós denominados MPR poderão retransmitir a mensagem, e todos os vizinhos receberão o pacote, com esse tipo de abordagem, cada nó irá receber a mensagem apenas uma vez. (MORAES, XAUD, XAUD, 2009).

A figura 4 mostra o processo de descoberta de vizinhos do protocolo OLSR, nela podemos observar que apenas alguns nós vizinhos foram denominados nós MPR, para que não haja o processo de inundação da rede, podendo apenas estes retransmitir mensagens de atualização.

Figura 4 – Processo de descoberta de vizinhos do OLSR.



Fonte: (http://www.olsr.org/docs/report_html/node27.html).

4.2.2 Reativos

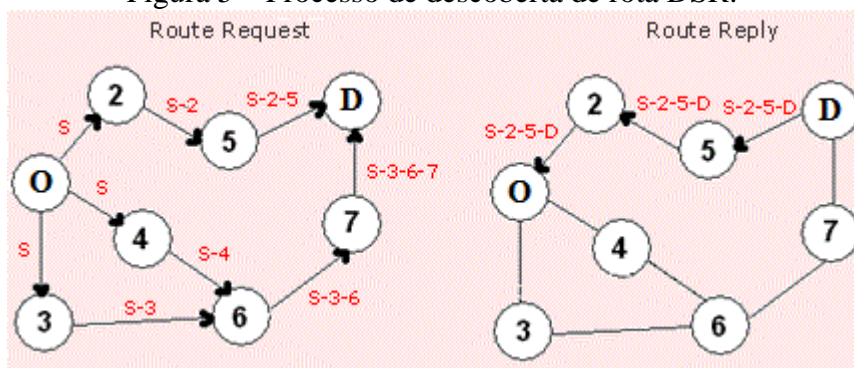
Os reativos são protocolos sob demanda que só constroem rotas quando há uma requisição explícita de envio de mensagens, porém, apesar de reduzir o *overhead* de controle, o protocolo reativo pode demorar mais para resolver problemas que prejudicam o desempenho da rede (FARIAS, 2008). No caso dos protocolos reativos, temos como exemplo os protocolos DSR e o AODV.

4.2.2.1 DSR

O protocolo DSR é baseado nos algoritmos de estado de enlace e tem como principal característica a utilização de roteamento por fonte, ou seja, ele mantém em sua tabela, a rota completa até o nó de destino (FARIAS, 2008). Na figura 5, podemos observar o processo de descoberta de rotas do DSR, onde um nó origem (O) envia requisições de rota através da rede para encontrar o caminho para o nó destino (D). A descoberta de rota é feita através de mensagens *broadcast*, onde o nó origem envia uma mensagem de requisição de rota. Quando um nó recebe essa mensagem, ele verifica em sua *cache* se ele tem uma rota para o nó de origem. Caso ele possua, envia uma mensagem de resposta contendo a rota. Caso não

possua, ele insere no pacote seu endereço e inunda a rede com o pacote de resposta para que todos saibam onde ele se encontra.

Figura 5 – Processo de descoberta de rota DSR.

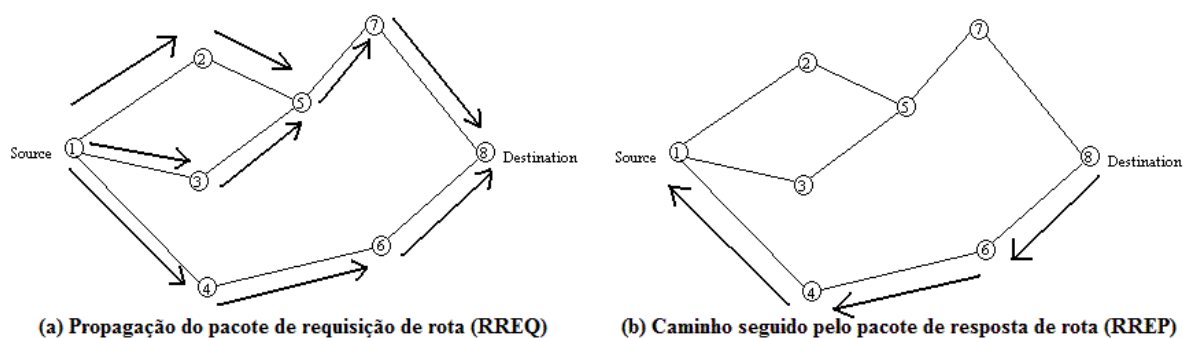


Fonte: (http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialprotocolo/pagina_2.asp/).

4.2.2.2 AODV

O AODV é baseado no algoritmo de vetor de distância e utilizam tabelas de roteamento tradicional que armazenam apenas o próximo salto para o nó de destino (MORAES, XAUD, XAUD, 2009). Como mostrado na figura 6, o processo de descoberta de rota é semelhante ao DSR, o nó origem envia um pacote *RouteRequest* (RREQ) para seus vizinhos, que ao receberem, repetem o mesmo processo até que o nó destino ou um nó que conheça a rota é encontrado. Após receber a requisição, o nó destino envia um pacote *RouteReply* (RREP) para o emissor da mensagem e os nós repetem o processo e atualizam suas tabelas (MORAES, XAUD, XAUD, 2009).

Figura 6 – Processo de descoberta de rota AODV.



Fonte: (http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/adhoc_routing/).

4.2.3 Híbridos

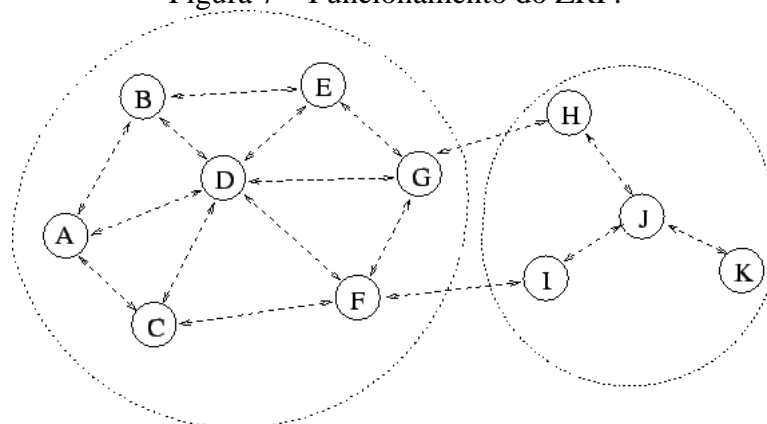
Nos protocolos híbridos apenas um conjunto de nós escolhidos agem de forma pró-ativa (FARIAS, 2008), mantendo a atualização das tabelas e gerando menos *overhead* já que nem todos os nós vão inundar a rede com pacotes de solicitação de rota. Dentre os protocolos híbridos temos como exemplo o ZRP.

4.2.3.1 ZRP

O protocolo ZRP é um protocolo híbrido, portanto, ele possui características dos dois tipos de protocolos. “Para descoberta de vizinhos, ele utiliza um protocolo proativo chamado IARP e para comunicação entre vizinhanças ele utiliza o protocolo IERP” (FARIAS, 2008).

A figura 7 mostra o funcionamento do protocolo ZRP, onde o nó A e o nó J por exemplo, estão situados em zonas diferentes que utilizam protocolo de roteamento pró-ativo, e a comunicação entre essas zonas é feita através de um protocolo reativo.

Figura 7 – Funcionamento do ZRP.



Fonte: (http://www.olsr.org/docs/report_html/node18.html).

4.3 B.A.T.M.A.N.-adv

A principal função dos protocolos de roteamento desenvolvidos para *Wireless Mesh Networks* (WMNs) é procurar as melhores rotas em redes de múltiplos-saltos, que utilizam meios de comunicação não confiáveis, que é o caso do ar. A transmissão de dados através do ar sofre com vários problemas, como perda de pacotes, alto atraso se considerado uma infraestrutura cabeada, além do enfraquecimento do sinal. Todos estes problemas também

são de responsabilidade do protocolo, onde o mesmo deve trabalhar de forma eficaz para minimizar ao máximo os danos causados à transmissão *wireless*.

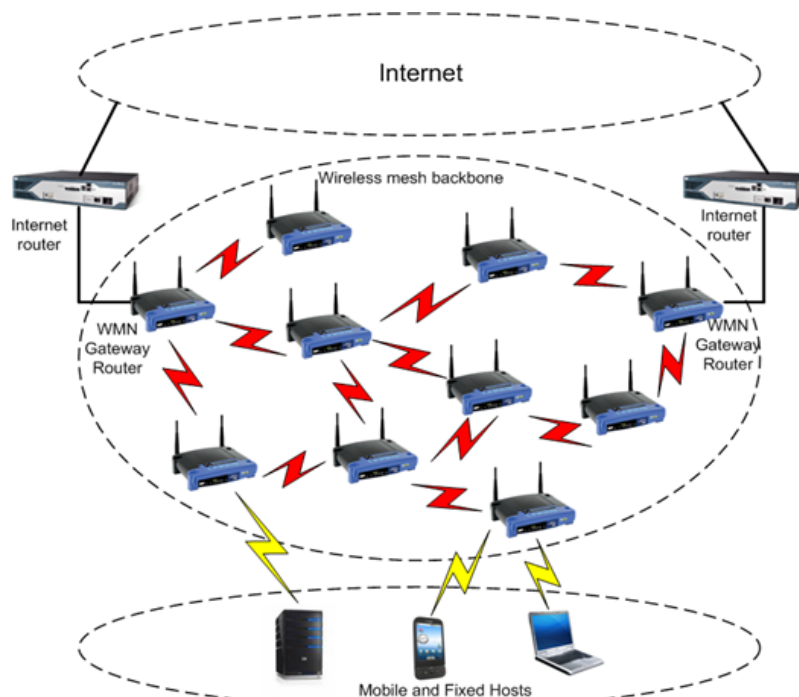
O protocolo B.A.T.M.A.N (*Better Approach To Mobile Ad hoc Networking*) é um protocolo de roteamento do tipo pró-ativo para *wireless mesh networks*, que utiliza vetor de distância para guardar o próximo salto para todos os outros nós vizinhos e uma métrica de roteamento que considera a qualidade dos links de rádio, gerando maior *overhead* de controle na rede (SHEITER, KONIG e HOLLICK, 2011).

Existem três implementações do B.A.T.M.A.N, a seguir falaremos sobre duas delas. Inicialmente, a versão original do protocolo utilizava um *daemon* (*batmand*), que traçava rotas na camada 3 como a maioria dos outros protocolos de roteamento. Em 2007, o B.A.T.M.A.N-*advanced* (B.A.T.M.A.N-adv), foi desenvolvido, visando maior desempenho. A versão atual passou a atuar na camada 2 do modelo OSI, e se tornou um módulo para o *kernel* do Linux (OPEN-MESH, 2016), onde as informações de encaminhamento são transportadas usando quadros *ethernet*. Com isso, o B.A.T.M.A.N-adv consegue tratar o tráfego de dados, encapsulando e encaminhando todo o tráfego entre os nós da rede, que atuam como *switches* virtuais (VILLAPOL, 2013). Portanto, os nós da rede parecem ser *link* local, desconhecendo a topologia de rede, e conseqüentemente não sendo afetados por alterações na rede e mudanças na topologia. Devido a isso, a primeira versão do B.A.T.M.A.N teve seu desenvolvimento praticamente interrompido, direcionando os esforços para a nova versão.

O B.A.T.M.A.N-adv é um algoritmo simples e robusto para o estabelecimento de rotas com múltiplos saltos em redes *ad hoc*. Como ele atua na camada 2, os nós podem participar da malha sem endereços IP, bem como executar sobre o protocolo, IPv4, IPv6, DHCP, etc. Por não estarem cientes das ligações de múltiplos saltos, devido a isso, este protocolo de encaminhamento consegue obter um melhor desempenho relativo a processamento e tráfego no nó (GITBOOK, 2016), sendo assim, o B.A.T.M.A.N-adv acaba sendo uma opção atraente para dispositivos que possuem *hardware* baratos, que são o foco das redes em malha sem fio.

Na figura 8 é mostrado como funciona o protocolo, onde podemos ver as ligações estabelecidas pelo B.A.T.M.A.N em vermelho, formando o *backbone* da rede *mesh*, para que possa realizar o encaminhamento dos pacotes e fornecendo conectividade entre todos os nós da rede, sem que haja necessidade de configuração de endereços IP.

Figura 8 – Funcionamento do B.A.T.M.A.N.



Fonte: (<http://resources.infosecinstitute.com/b-a-t-m-a-n/>).

4.4 Redes Ad Hoc

As redes *Ad Hoc* consistem em nós espalhados geograficamente pelo ambiente que se comunicam através de um enlace sem fio. Em uma rede *Ad Hoc* há a ausência de infraestrutura pré-instalada e a comunicação da rede é restrita, uma vez que ela se dá até o momento em que a bateria de seus nós acaba. A falta de uma infraestrutura física nas redes *Ad Hoc* faz com que toda a comunicação na rede seja descentralizada (RAJARAMAN, R., 2002).

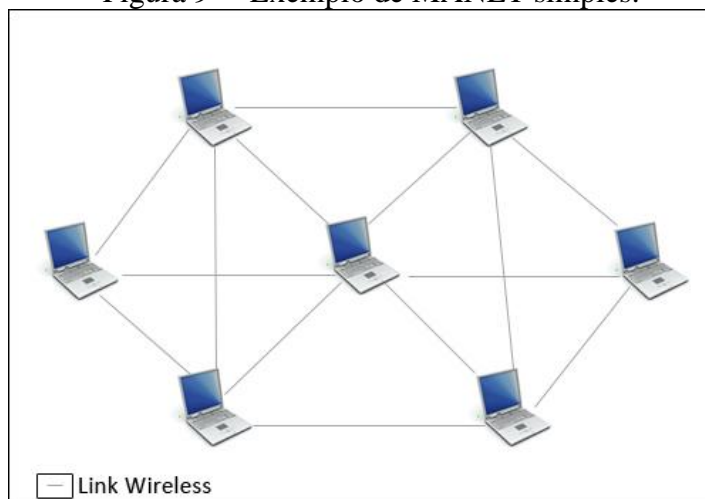
De acordo com MORAES, XAUD e XAUD, (2009), as redes *Ad Hoc* geralmente, são utilizadas para denominar situações específicas em que os problemas são resolvidos de maneira improvisada. Nelas os dispositivos (nós) não se comunicam com um dispositivo central, isso elimina a necessidade de um dispositivo roteador para realizar a comunicação da rede com outros destinos pois quem faz esse papel são os próprios nós, onde os enlaces são únicos entre eles, fazendo com que assim que um nó da rede fique indisponível, esta continue operando e encontre um novo caminho através de outros nós, tornando a rede tolerante a falhas, pois a rede continua operando.

As redes *Ad Hoc* ficaram comumente conhecidas por MANET (*Multihop Ad Hoc Network*), pelo fato de conseguir realizar roteamento através de múltiplos saltos entre os nós, porém existe outra denominação para MANET que significa *Mobile Ad Hoc Networking*,

entretanto, os dois tipos de tradução para MANETs sempre vão referenciar-se às redes *Ad hoc* móveis que se comunicam através de meios sem fios.

Na figura 9 podemos observar um exemplo de MANET simples, onde os nós da rede (*notebook*) se conectam uns aos outros através de *links wireless*, mantendo conexões com seus nós vizinhos, estabelecendo conexão com toda a rede.

Figura 9 – Exemplo de MANET simples.



Fonte: (http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/adhoc/index.html).

A falta de infraestrutura prévia em uma rede *Ad Hoc* torna-a mais flexível. Uma vez que estas são redes sem fio que dispensam o uso de um ponto de acesso centralizado por onde todos os dados da rede passarão, implica em uma rede com menos gargalos, que trabalha de forma mais eficiente e mais barata.

5 PLANEJAMENTO E REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Este projeto propõe uma análise de desempenho do protocolo B.A.T.M.A.N.-adv a fim de medir a viabilidade de implantação de uma Rede *Mesh* sem Fio (RMF) em comparação as redes cabeadas. A escolha das RMFs deve-se ao fato de que sua facilidade e custo de implantação serem relativamente baixos se comparados a uma rede cabeada. Para tanto, para a implantação do cenário RMF utilizamos equipamentos de baixo custo como *mesh gateways* e *routers*, com o *OpenWrt* como *firmware*.

A seguir descrevemos o ambiente de experimentação, com suas características, configurações e cenários utilizados.

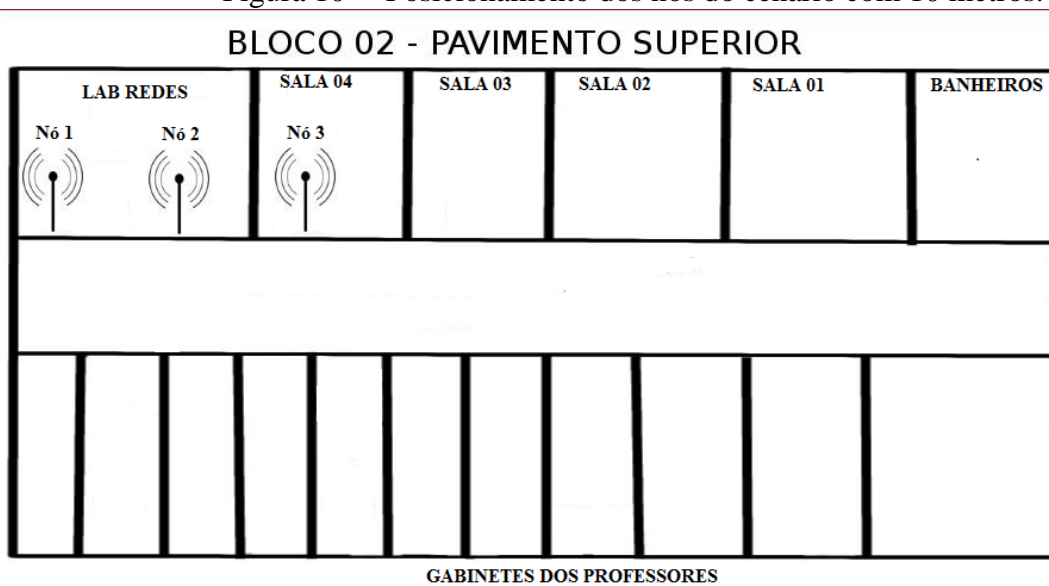
5.1 Local de Testes

Este trabalho avaliou a viabilidade de implantação de uma rede *mesh* sem fio, em testes realizados no bloco 02, do campus da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Quixadá-CE.

As figuras 10, 11, 12 e 13 mostrarão os locais de fixação dos nós da rede. Os locais foram definidos com base no alcance dos nós, que foi definido com base em testes preliminares para identificação da distância máxima de propagação do sinal do ponto de acesso, que mostrou ser 15 metros, e da disponibilidade das salas do campus e no horário das aulas. As salas escolhidas foram o Laboratório de Redes, salas 3 e 4, e corredor, que ficam localizadas no andar superior do bloco 02 do campus da UFC em Quixadá.

A figura 10 mostra o cenário com a distância de 10 metros entre os nós principais (Nó 1 e nó 3), onde os nós 1 e 2 foram posicionados no laboratório de redes de computadores, e o nó 3 foi posicionado na sala 04.

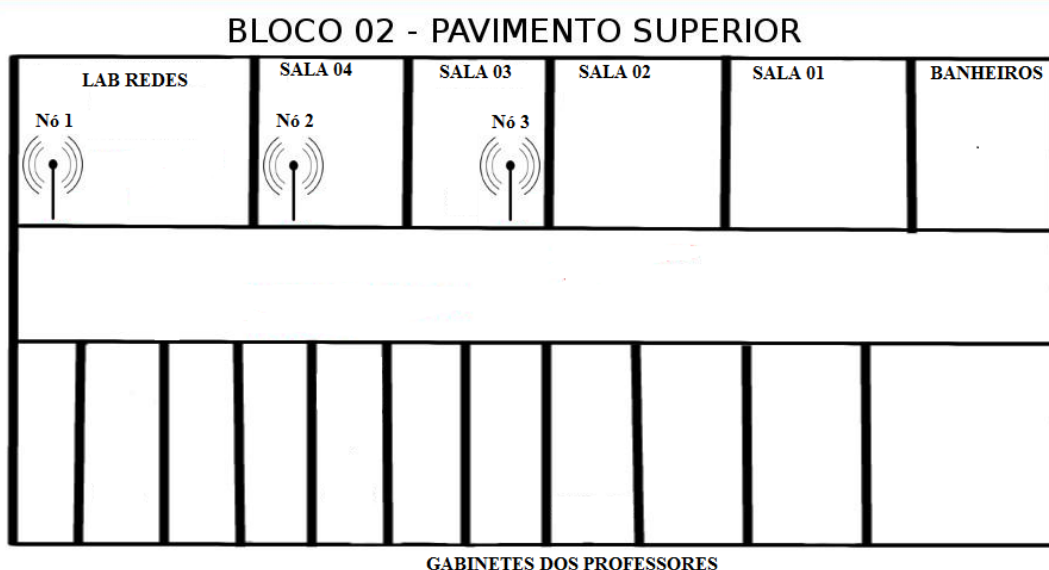
Figura 10 – Posicionamento dos nós do cenário com 10 metros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 11 mostra o cenário com a distância de 15 metros entre os nós principais (Nó 1 e nó 3), onde o nó 1 foi posicionado no laboratório de redes de computadores, o nó intermediário (Nó 2) foi alocado na sala 04 e o nó 3 foi posicionado na sala 03.

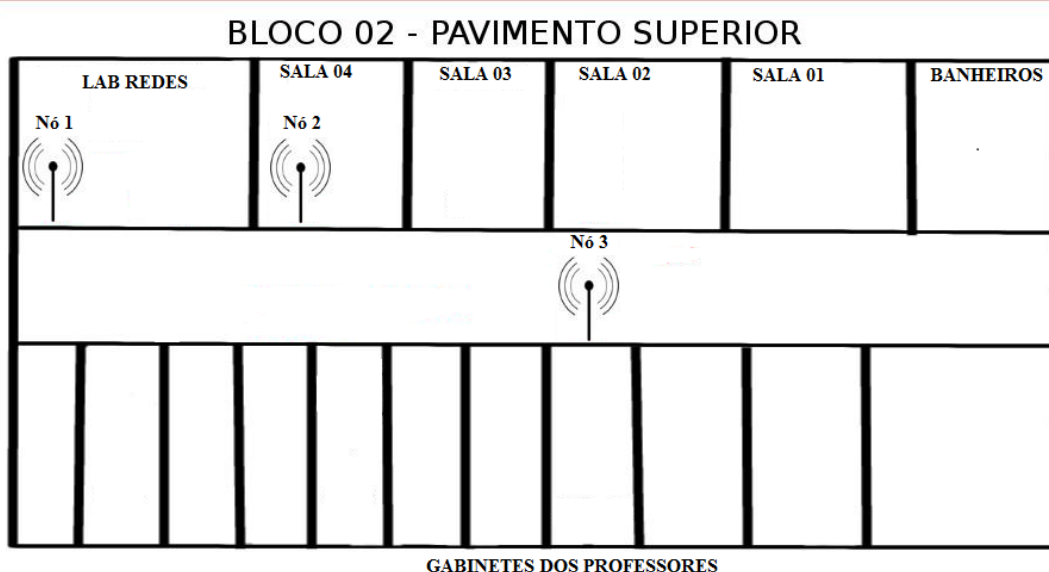
Figura 11 – Posicionamento dos nós do cenário com 15 metros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 12 mostra o cenário com a distância de 20 metros entre os nós principais (Nó 1 e nó 3). Devido à distância entre os nós principais ultrapassar 15 metros de distância (Limite máximo de alcance do nó), houve a necessidade de alocar o nó intermediário entre eles para viabilizar a comunicação na malha. Com isso, o nó 1 foi posicionado no laboratório de redes de computadores, o nó intermediário (Nó 2) permaneceu na sala 04 e o nó 3 foi posicionado no corredor devido a indisponibilidade à sala 02.

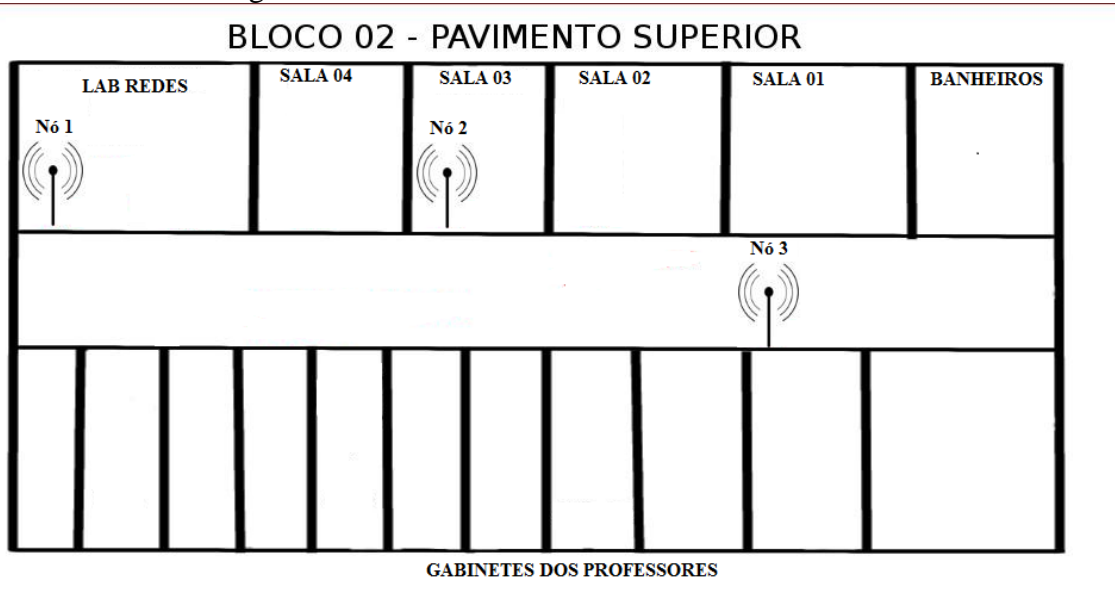
Figura 12 – Posicionamento dos nós do cenário com 20 metros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 13 mostra o cenário com a distância de 25 metros entre os nós principais (Nó 1 e nó 3). Novamente, devido à distância entre os nós principais ultrapassar 15 metros de distância (Limite máximo de alcance do nó), o nó intermediário foi posicionado na sala 03 para viabilizar a comunicação na malha. O nó 1 permaneceu no laboratório de redes de computadores, e o nó 3 foi posicionado no corredor devido a indisponibilidade à sala 01.

Figura 13 – Posicionamento dos nós do cenário com 25 metros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os cenários utilizados nos testes não faziam parte da mesma rede que conectava o campus Quixadá, para que as políticas e o tráfego oriundo da rede infraestruturada não influenciasse no resultado final dos testes.

5.2 Equipamentos Utilizados

Abaixo, mostraremos os equipamentos utilizados na elaboração dos testes em laboratório.

5.2.1 Roteador Wireless

Para a formação do *backbone* da rede *mesh* sem fio e suas configurações foram utilizados três roteadores wireless que serão especificados abaixo.

Devido ao fato das redes *mesh* sem fios prezarem pela utilização de equipamentos de baixo custo financeiro, foram adquiridos três roteadores *wireless* para execução dos testes. Os produtos escolhidos foram da marca TP-LINK, modelo TL-WR740N que custaram (R\$ 300,00).

Segundo TP-LINK (2016), o roteador *wireless* TP-LINK TL-WR740N é um dispositivo de conexão de rede cabeada/wireless que integra um roteador de compartilhamento de *Internet* e um switch de 4 portas. Ele é compatível com o padrão 802.11bgn e oferece um desempenho 802.11n de até 150Mbps.

A velocidade de transmissão suportada pelo aparelho permite que aplicações com alto consumo de largura de banda, como streaming de vídeo, VoIP ou jogos sejam mais fluidas (TP-LINK, 2016). Abaixo, a figura 14 mostra o equipamento utilizado nos testes.

Figura 14 – Roteador Wireless TP-LINK TL-740N.



Fonte: TP-LINK (2016).

5.2.2 Computadores

Para a realização dos testes de geração de tráfego foram utilizados dois equipamentos, um computador e um *laptop*, que serão descritos a seguir.

Para ser usado como máquina servidor nos testes de geração de tráfego, foi utilizada uma máquina presente no laboratório de redes de computadores no campus da UFC em Quixadá. Na tabela 2 podemos conferir as especificações da máquina servidor.

Tabela 2 – Configurações do computador de mesa do laboratório.

Configurações

Marca	Lenovo
Modelo	ThinkCentre E73
Processador	Intel Core i7
Memória	8 Gb
Disco Rígido	500 GB
Placa de Rede	Fast <i>Ethernet</i>
Sistema Operacional	Ubuntu Desktop 12.04 64-bits

Fonte: elaborada pelo autor.

Para ser usado na geração dos tráfegos dos clientes nos testes de rede, foi usado um *notebook*, que foi utilizado também na captação e análises dos dados proveniente dos testes. A tabela 3 mostra as configurações do *laptop* que foi utilizado na geração de tráfego.

Tabela 3 – Configurações do Laptop.

Configurações	
Marca	Acer
Modelo	Aspire
Processador	Intel Core i3
Memória	2 Gb
Disco Rígido	500 GB
Placa de Rede	Fast <i>Ethernet</i>
Sistema Operacional	Ubuntu Desktop 12.04 32-bits

Fonte: elaborada pelo autor.

5.2.3 Cabeamento

Os cabos utilizados na montagem dos testes, tanto para conexão entre os *Mesh Routers* (MR) e os computadores, quanto na ligação entre os MRs na topologia cabeada foram da categoria 5e. Este cabeamento foi escolhido por encontrar-se disponível no laboratório para ampla utilização e que utiliza o mesmo padrão das interfaces de rede *Fast Ethernet* disponíveis nos computadores.

5.3 Pré Configuração dos Nós

Os roteadores *wireless* utilizados neste projeto continham o sistema operacional embarcado (*firmware*) de fábrica utilizada pela fabricante *TP-Link*, porém para serem habilitadas novas funções que mais tarde seriam utilizadas na rede, foi necessário trocar a *firmware* do dispositivo. Neste trabalho foi utilizada a *firmware OpenWRT*.

O *OpenWRT* é um sistema operacional *Linux* para sistemas embarcados com gerenciamento de pacotes. “Isso libera você da seleção de aplicativos e da configuração fornecida pelo fabricante e permite que você personalize o dispositivo através do uso de pacotes para atender a qualquer aplicativo” (OPENWRT, 2016).

Para realizar a troca do *firmware* original do aparelho pelo *OpenWRT*, foi necessário realizar uma análise prévia dos dispositivos suportados. Essa verificação foi feita através de uma consulta à tabela de dispositivos disponível no *site*, e posteriormente foi feita a instalação do novo sistema operacional *OpenWRT* 15.05 nos pontos de acesso (AP).

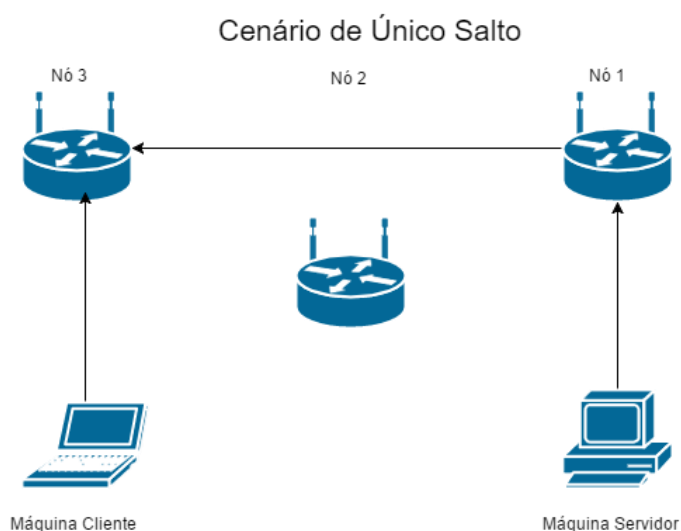
5.4 Cenários

Os cenários teste foram elaborados de acordo com os protocolos analisados, sendo o cenário 1 aquele que utiliza o protocolo B.A.T.M.A.N.-adv e o cenário 2 utilizando cabeamento estruturado.

Cada um destes cenários compartilhou da mesma topologia de testes que será descrita a seguir. As figuras 15, 16 e 17 mostram as topologias de rede utilizadas na configuração dos testes.

A figura 15 está representando a forma como os nós foram organizados nos cenários de 10 e 15 metros, onde não houve a necessidade de realizar o encaminhamento dos pacotes através de múltiplos saltos. O *backbone* da rede consiste inteiramente de ligações sem fios, enquanto seus MRs conectam-se às estações cliente e servidor respectivamente através de cabos *ethernet* Cat5e. O nó intermediário permaneceu ligado durante os testes, porém o tráfego de dados passou inteiramente pelos nós principais.

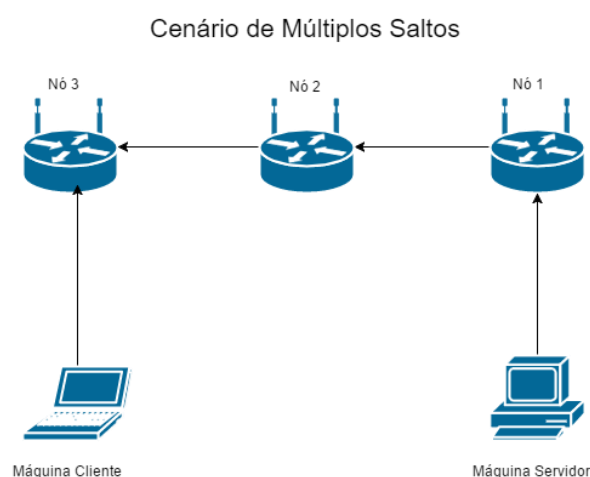
Figura 15 – Cenário com único salto na rede *mesh*.



Fonte: O autor.

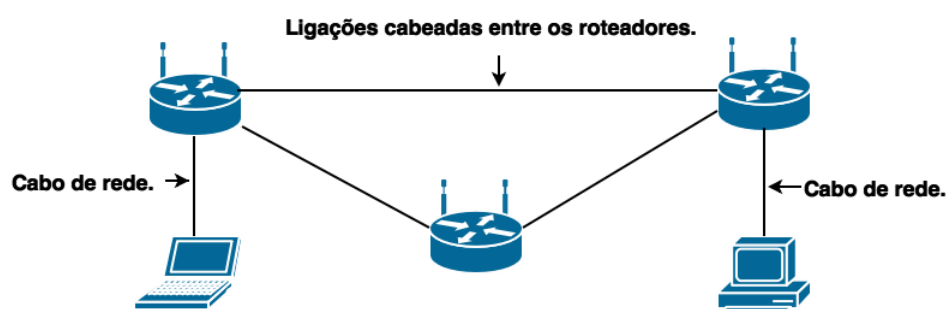
A figura 16 mostra a forma como os nós foram organizados nos cenários de 20 e 25 metros, onde houve a necessidade de realizar o encaminhamento dos pacotes através de múltiplos saltos, pois de acordo com os testes preliminares, o alcance máximo dos nós da rede foi de 15 metros. O *backbone* da rede permaneceu formado inteiramente de ligações sem fios, enquanto seus MRs conectam-se às estações cliente e servidor respectivamente através de cabos *ethernet* Cat5e. O nó intermediário permaneceu ligado durante os testes, para agir como um dispositivo de interconexão entre os APs principais, fornecendo conectividade à malha para que o tráfego de dados fosse trocado entre os nós principais.

Figura 16 – Cenário de múltiplo salto na rede *mesh*.



Na figura 17 mostra-se as ligações através de cabos entre os MRs da rede e também entre as máquinas cliente e servidor, porém a distância entre os nós permaneceu fixa, pois o sinal através do cabo de par-trançado só vem se atenuar após 100 metros.

Figura 17 – Cenário cabeado utilizado.



Fonte: O autor.

5.4.1 Cenário B.A.T.M.A.N.-adv

O cenário composto pelo protocolo B.A.T.M.A.N.-ADV foi montado da seguinte forma: inicialmente foi instalada a versão do *OpenWrt* compatível para os dispositivos que foi a versão 15.05. Após a instalação do sistema operacional, foi necessária a instalação dos módulos do B.A.T.M.A.N.-adv e suas dependências, após a instalação, deve-se configurar a interface rádio dos nós para trabalharem em modo *ad hoc*. Após isso deve-se configurar a interface *wireless* para utilizar o protocolo B.A.T.M.A.N.-adv e a tecnologia IEEE 802.11n, habilitar o IP *forwarding* para redirecionamento de pacotes entre as interfaces de rede e escrever regras de *firewall* para liberar o redirecionamento nas interfaces, e assim a comunicação entre os elementos da malha.

A configuração do cenário composto pelo protocolo B.A.T.M.A.N.-adv foi montada da seguinte forma: O computador servidor, que estava interligado com o nó 1 através de um cabo Cat5e de 1,5 metros, executou um pequeno *script* (Ver apêndice C) para iniciar o servidor que recebeu o tráfego dos clientes e armazenou essas informações em uma saída padronizada. Na outra ponta da rede, o *notebook* utilizado nos testes de geração de tráfego que executou o *script* de geração de tráfego através de clientes UDP (Ver apêndice D) para 1, 3, 5, 7 e 9 clientes, que foram executados na mesma máquina, sendo que para cada cliente na rede, um fluxo constante era gerado no IPERF, portanto, nos testes com 9 clientes, eram criados nove fluxos constantes na ferramenta, além dos *script* que fez o teste de conectividade da rede com a ferramenta FPING, e um outro que tratou os dados gerados pelo servidor (Ver apêndice B).

O dispositivo que atuou na geração de tráfego dos clientes foi ligado a um dos nós da rede (nó 3) através de um cabo categoria 5e de 1,5 metros. O nó 2 ou nó intermediário, apenas estava ligado entre os dois nós principais através de ligações sem fios *ad hoc*. A distância entre os nós do *backbone mesh* variou de 10, 15, 20 e 25 metros, sendo 10 e 15 metros para os testes de um único salto e 20 e 25 para os testes de múltiplos saltos. A largura de banda por cliente foi fixada em 1,05 Mbit/s para cada cliente da rede, que é o valor padrão da ferramenta utilizada e que consideramos como uma taxa de transmissão média de um cliente comum em uma rede local.

5.4.2 *Cenário Cabeado*

Na utilização de rede infraestruturada, os nós da rede foram utilizados como *switches*, onde foram interligados uns aos outros através de cabos de rede *Ethernet* Cat5e. O papel de cada dispositivo na rede permaneceu o mesmo dos testes com o protocolo B.A.T.M.A.N-adv. A configuração da rede foi feita através de configuração estática de IPs, e o *notebook* gerou os tráfegos para a máquina servidor do outro lado da rede. Nos testes da rede cabeada, a largura de banda por cliente também foi fixada em 1,05 Mbit/s para que a análise de desempenho das redes fossem medidas nas mesmas condições.

5.5 **Seleção das Métricas**

De acordo com os trabalhos relacionados citados acima, foram escolhidas as métricas que seriam utilizadas neste trabalho. As métricas a seguir foram utilizadas neste trabalho para medir a capacidade da rede de melhorar seus serviços, conhecidas como métricas de QoS (*Quality of Service*): latência, perda de pacotes, largura de banda e *jitter*, a fim de definir a viabilidade de implantação de redes em malha sem fio.

5.5.1 *Latência*

No contexto de redes de computadores a latência é o atraso de tempo entre um evento iniciado e o momento que seus efeitos se iniciam (CHESHIRE, 1996). Para medir a latência de uma rede, é necessário na maioria das vezes o comando PING que utiliza o protocolo ICMP para monitorar a conectividade entre os nós da rede. Para uma boa qualidade na comunicação de voz, a latência da rede deve permanecer abaixo de 150ms (TELECO, 2016). Para este trabalho, foi utilizada a ferramenta *linux* FPING, que é uma variação do comando PING comum. O FPING foi desenvolvido para trabalhar com múltiplos *hosts* simultaneamente e facilitar o gerenciamento de uma rede como um todo. A latência da rede é obtida no final da execução do teste, onde o FPING envia requisições ICMP para todos os elementos da rede, e no fim calcula a latência individual e geral na rede.

5.5.2 *Perda de pacotes*

A perda de pacotes é outra métrica bastante importante no contexto de redes de computadores. Ela revela a confiabilidade da rede na hora de entregar os pacotes endereçados a seus *hosts*, sendo que quanto menor é a taxa de perda de pacotes, melhor e mais confiável é a rede. Segundo Kurose e Ross (2010), a perda de pacote é obtida quando

um pacote transmitido a um sistema final através da rede não consegue chegar ao seu destino. A quantidade de pacotes perdidos aumenta de acordo com que o fluxo da rede é aumentado. No contexto deste trabalho, dentre as causas da perda de pacotes podem estar a interferência entre os pontos de acesso, obstáculos entre os nós da rede e o intenso fluxo de dados gerados pelo IPERF.

5.5.3 Largura de banda

Em redes de computadores a largura de banda (*Bandwidth*) refere-se à quantidade de dados em bits/s que sua rede consegue suportar. É a largura de banda que determina a velocidade que os dados trafegam através de uma rede específica. Ou seja, quanto maior a largura de banda, maior será a velocidade da conexão, visto que por ela passará mais dados ao mesmo tempo (CANALTECH, 2016). A largura de banda foi obtida ao final dos testes de geração de tráfego através da ferramenta IPERF.

5.5.4 Jitter

O *Jitter* representa a variação do atraso, ele representa uma variação estatística do atraso na entrega de pacotes em uma rede de computadores. No caso de um *jitter* elevado na rede os pacotes serão recebidos com uma variação muito grande em relação ao pacote anterior afetando aplicações sensíveis ao atraso (KELLER, A., 2011). Tal métrica influencia no desempenho de aplicações sensíveis ao atraso, como jogos, videoconferências e chamadas VOIP. O *jitter* foi obtido através dos testes de rede com a ferramenta IPERF.

5.5.5 Fatores

Os fatores escolhidos para os testes foram a distância entre os nós e o número de clientes, onde a distância entre os nós foi escolhida devido a necessidade da rede, durante os testes, realizar o roteamento através de múltiplos saltos, e o número de clientes foi incluído nos fatores devido a necessidade de verificação da capacidade da rede em lidar com múltiplos tráfegos gerados pelos clientes.

A tabela 4 abaixo mostra os fatores e níveis utilizados nos testes. Os fatores escolhidos foram, a distância entre os nós do *backbone* ligados ao dispositivo gerador de tráfego e ao servidor da rede *mesh* foram de dez, quinze, vinte e vinte e cinco metros

respectivamente, onde o nó intermediário foi fixado entre os dois para que fosse viabilizado o *multi hop*, e a quantidade de clientes geradores de tráfego no IPERF, que foi de 1, 3, 5, 7 e 9 clientes, devido à limitação do ponto de acesso em gerenciar mais que 9 fluxos ao mesmo tempo. Para cada variação de fatores e níveis, os testes foram executados trinta vezes, isso garante uma melhor confiabilidade dos dados, sendo que o tempo determinado para realização dos testes foi o padrão utilizado pela ferramenta e pelos trabalhos relacionados, que é dez segundos, totalizando 300 segundos ao final dos testes.

Tabela 4 – Fatores e níveis.

Fatores	Níveis
Distância entre os nós	10, 15, 20 e 25.
Número de clientes IPERF	1, 3, 5, 7 e 9.

Fonte: elaborada pelo autor.

5.6 Geradores/Analisadores de Tráfego Utilizados

Com base nas métricas e ferramentas utilizadas nos trabalhos relacionados, escolhemos as ferramentas a serem utilizadas nos testes de geração de tráfego e disponibilidade. Neste trabalho foram utilizadas as ferramentas IPERF e FPING da qual falaremos adiante.

5.6.1 IPERF

De acordo com Silva e Alves (2014), o IPERF é uma ferramenta de monitoramento e análise de rede de computadores, que consegue reunir em apenas uma aplicação um conjunto de funções que podem fornecer ao administrador de rede várias métricas de desempenho, como largura de banda (*Bandwidth*), taxa de transferência, perda de pacotes, *jitter*, etc.

Essa ferramenta foi escolhida para os testes devido a sua capacidade de reunir a maioria das métricas necessárias neste trabalho a fim de averiguar a qualidade do enlace na rede de testes.

O IPERF funciona em um esquema de cliente/servidor, onde o servidor aceita as conexões dos clientes e por sua vez os clientes iniciam os testes. Esses testes por padrão são

realizados com pacotes TCP, mas a ferramenta oferece a opção de usar um tráfego com pacotes UDP. Durante a análise o IPERF envia constantemente os pacotes, e ao final do tempo estipulado para a medição, que por padrão é de 10 segundos a ferramenta gera um relatório que contém os dados requisitados no comando de geração de tráfego, tanto para os fluxos clientes quanto para o servidor, ambos individualmente.

Baseado nos trabalhos relacionados como o de Sheiter, Konig e Hollick (2011), utilizamos a ferramenta com um tráfego constante (CBR – *Constant Bit Rating*) UDP, pois apenas esse protocolo fornece métricas extras, como perda de pacotes.

5.6.2 FPING

De acordo com Praciano (2014), o FPING é uma ferramenta utilitária utilizada para verificar a disponibilidade de máquinas conectadas a uma rede. Embora seja semelhante ao *Ping* tradicional por utilizar pacotes ICMP (*Internet Control Message Protocol*), com o FPING podemos fornecer vários endereços IP (*Internet Protocol*) em uma linha ou até mesmo um conjunto de endereços em um arquivo de texto, para que este possa realizar a sondagem de todas as máquinas da rede de uma vez só, marcando os *hosts* que respondem a requisição ICMP como ativos e os que não respondem como inativos.

O FPING não vem instalado por padrão no sistema operacional utilizado neste trabalho, portanto o utilitário teve de ser instalado através de linha de comando para que pudesse ser utilizado.

Embora nenhum dos trabalhos relacionados a este utilizassem tal ferramenta, o FPING mostrou-se uma alternativa atraente para realizar os testes de disponibilidade e monitoramento dos ativos da rede, pois ele pode fornecer a latência da rede como um todo.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, será apresentada a análise dos dados obtidas nos experimentos, resultante dos dados coletados nos experimentos. A seção está dividida de acordo com as métricas utilizadas nos testes realizados na rede, que são largura de banda (*Bandwidth*), *jitter*, perda de pacotes e latência.

Nos testes de geração de tráfego, foi utilizada a ferramenta IPERF para gerar tráfego entre dois *hosts* o cliente e o servidor a fim de se obter a largura de banda, *jitter* e

perda de pacotes. A geração do tráfego foi feita através de um script, que pode ser visto no Apêndice C e D. Após as análises, os valores obtidos foram inseridos em planilhas no *Microsoft Excel*, onde foram submetidas ao teste de Wilcoxon, que um teste estatístico bastante utilizado em testes não paramétricos, a fim de evitar que possíveis *outliers* (valores atípicos) prejudicassem a qualidade das amostras e a fidelidade dos resultados (TERRA; LIMA, 2006). Posteriormente foram gerados os gráficos e tabelas presentes neste trabalho, onde as análises foram feitas levando em consideração um intervalo de confiança de 95%.

Como dito anteriormente, apenas os nós cliente e servidor estão diretamente ligados ao *backbone* da rede *mesh* através de cabos de par-trançado Cat5e. Para que estes conseguissem conexão com a rede foi preciso configurar IPs estáticos dentro da faixa de endereços do núcleo da rede, agindo assim como se fossem pontos de acesso e não usuários da rede. Após executar os *scripts* de geração de tráfego nas máquinas cliente e servidor, os arquivos de *log* foram recolhidos e após um tratamento realizado por outro *script* que está disponível no apêndice A. Os dados foram enviados para planilhas no *Microsoft Excel* e submetidos ao teste de Wilcoxon.

As seções terciárias mostrarão o desempenho de cada cenário teste, para determinada métrica. Cada tabela, apresentará as medidas relativas à cada métrica, de acordo com a variação das distâncias.

6.1 Bandwidth

A largura de banda, ou *bandwidth* também foi avaliada nos testes de desempenho de rede. O gráfico abaixo apresenta os valores obtidos nas redes com protocolo de encaminhamento B.A.T.M.A.N-adv e na rede com infraestrutura. A seguir, o gráficos 1, e as tabelas 5, 6, 7 e 8 mostrarão o desempenho destes dois tipos de rede de acordo com a distância entre os nós.

As tabelas 5, 6, 7 e 8 mostram os dados obtidos para largura de banda através da rede *mesh* que utilizou o protocolo B.A.T.M.A.N-adv, levando em consideração a variação da distância entre os nós. Através do gráfico 1, podemos observar, que a largura de banda, em sua maioria permaneceu próximo a 1,05 Mbit/s, porém, como as margens de erro se cruzavam, não podemos definir o melhor caso.

Na tabela 5 são mostrados os dados relativos ao desempenho da rede com B.A.T.M.A.N-adv à uma distância de 10 metros entre o nó emissor e o nó receptor. Nela, podemos perceber que a rede se comporta bem, mantendo os resultados próximos ao valor fixado de 1,05 Mbits/s no início dos testes. No teste com 9 clientes os dados coletados não apresentaram valores similares aos obtidos com os testes que utilizavam menos clientes. Isso pode ser justificado pela provável dificuldade da rede em lidar com vários fluxos, que podem ter causado sobrecarga na rede, forçando o servidor a reduzir a largura de banda.

Tabela 5 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,049	1,049	1,050
3	1,050	1,0499	1,050
5	1,05	1,05	1,05
7	1,025	1,025	1,034
9	0,744	0,719	0,849

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 6 podemos observar que a rede mantém a largura de banda próxima ao valor máximo fixado de 1,05 Mbits/s, mesmo que a distância entre os nós seja aumentada para 15 metros. Porém, no teste com 5 clientes a rede não conseguiu entregar um desempenho próximo ao obtido nos testes anteriores.

Tabela 6 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,049	1,049	1,050
3	1,045	1,049	1,049

5	0,782	0,805	0,829
7	1,007	1,030	1,034
9	1,039	1,039	1,039

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 7, a rede se comportou de forma um pouco diferente dos testes anteriores, porém, ainda conseguiu manter a largura de banda próxima à 1,05 Mbits/s na maioria dos testes. O desempenho um pouco inferior aos testes realizados anteriormente pode ter sido causado pelo encaminhamento por múltiplos saltos forçado a partir de 20 metros de distância entre os nós devido ao alcance máximo identificado nos testes preliminares, que foi de 15 metros, tornando necessária a adição de um nó intermediário.

Tabela 7 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,049	1,044	1,050
3	0,974	0,964	0,974
5	1,035	1,034	1,040
7	1,020	1,019	1,024
9	0,847	0,847	0,847

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 8, estão os resultados obtidos nos testes em que a distância entre os nós era de 25 metros. Nos dados obtidos nos testes, a rede não conseguiu manter o padrão de largura de banda dos testes anteriores, apresentando valores abaixo de 1 Mbit/s na maioria dos casos. Isso mostra que a distância entre os nós pode estar causando a depreciação da largura de banda devido à uma possível atenuação do sinal dos pontos de acesso.

Tabela 8 – Largura de banda da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,049	1,040	1,050
3	0,987	0,935	0,992
5	1,009	0,730	1,019
7	0,575	0,559	0,616
9	0,854	0,836	0,878

Fonte: elaborada pelo autor.

A tabela 9 mostra os dados obtidos para largura de banda através da rede que utilizou o cabeamento como meio de transmissão. A rede cabeada mostrou-se bastante consistente nos seus resultados, mantendo-se sem variações de resultados, alcançando 1,05 Mbits/s em todos os testes, garantindo a confiabilidade e consistência das amostras.

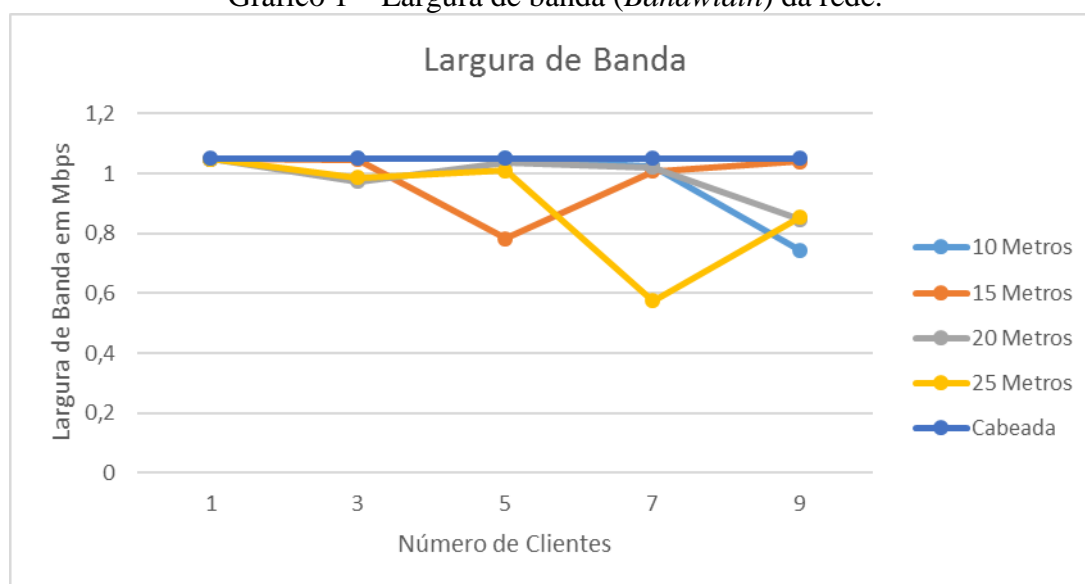
Tabela 9 – Largura de banda da rede cabeada.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,050	1,050	1,050
3	1,050	1,050	1,050
5	1,050	1,050	1,050
7	1,050	1,050	1,050
9	1,050	1,050	1,050

Fonte: elaborada pelo autor.

O gráfico 1 apresenta uma visão geral do desempenho da rede, onde podemos observar que em grande parte dos testes as redes se mantiveram estáveis, apresentando uma queda significativa em alguns resultados da rede *mesh* com B.A.T.M.A.N-adv, à medida que a distância aumentava. Pode-se observar, que diferente da rede em malha, a largura de banda da rede cabeada manteve seu desempenho consistente ao longo de todos os testes, atingindo os 1,05 Mbits/s estabelecidos nos testes.

Apesar de possíveis interferências de canais causadas na rede pelos pontos de acesso próximos, os valores obtidos foram considerados aceitáveis, pois apesar de inferiores, não mostraram, de forma geral, exceto em alguns casos, uma perda significativa de desempenho em relação aos dados obtidos pela rede cabeada.

Gráfico 1 – Largura de banda (*Bandwidth*) da rede.

Fonte: Produzido pelo autor.

Pode-se observar que a largura de banda do cenário em malha de baixo custo montada neste trabalho apresentou níveis de largura de banda inferiores em relação ao cenário cabeado. Porém a WMN pode ter sofrido com interferência de canais causado pelos diversos outros *access points* presentes em locais próximos aos de onde foram colocados. Sendo assim, a rede *mesh* sem fios teve perdas consideráveis de pacotes, que afetaram os resultados de todos os testes realizados.

6.2 Jitter

A variação do atraso (*Jitter*) é um fator importante em diversas aplicações de rede, tais como streaming de áudio e vídeo, chamadas VoIP e vídeo conferências. Devido a isso resolvemos avaliar o *jitter* da rede, para que possamos saber se ela consegue oferecer um desempenho mínimo para aplicações desse tipo. O gráfico e tabelas a seguir mostrarão como as redes se comportaram perante a bateria de testes aplicadas a elas.

Nas tabelas 10, 11, 12 e 13, os dados relativos ao *jitter* do cenário configurado com o protocolo B.A.T.M.A.N-adv serão apresentados.

Na tabela 10 estão representados os valores obtidos em relação à variação do atraso em uma distância de 10 metros entre os nós. Nela podemos observar que a rede manteve o *jitter* em valores baixos na maioria dos testes, com exceção do teste com 9 clientes, onde a rede atingiu um *jitter* médio de 6,495ms.

Tabela 10 – *Jitter* da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,275	1,075	1,475
3	1,228	1,041	1,431
5	1,748	1,664	1,850
7	3,755	3,024	4,621
9	6,495	5,147	7,763

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 11 temos o *jitter* da rede *mesh*, com distância de 15 metros entre os pontos de acesso principais. A tabela mostra que o *jitter* obtido durante os testes ainda mantém valores baixos, porém, devido à uma possível atenuação do sinal, por estar no limite máximo do alcance dos pontos de acesso, os dados apresentaram um leve aumento, principalmente quando o número de fluxos dos clientes aumentou.

Tabela 11 – *Jitter* da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,969	1,664	2,274
3	1,348	1,224	1,488
5	1,834	0,993	2,387
7	4,869	4,319	5,807
9	3,141	5,147	3,398

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 12 é mostrado os dados da rede *mesh* com variação da distância em 20 metros. Após forçarmos o roteamento através da malha aumentando a distância entre os nós principais acima do limite do alcance dos nós (15 metros), e inserindo o nó 2 como nó

intermediário para possibilitar a comunicação entre os nós da malha, o *jitter* da rede aumentou, porém é normal que isso aconteça, já que os pacotes passarão por um ponto de acesso intermediário.

Tabela 12 – *Jitter* da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	5,117	3,143	7,542
3	8,427	6,682	10,044
5	6,911	6,087	7,765
7	8,940	8,219	9,784
9	3,870	2,870	3,476

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 13 temos os dados relativos ao *jitter* da rede com os pontos de acesso à 25 metros de distância. Como já foi observado na largura de banda, a distância de 25 metros também afetou o desempenho da rede em relação ao *jitter*, que alcançou valores muito altos em relação aos testes anteriores.

Tabela 13 – *Jitter* da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	7,446	5,892	9,555
3	13,270	10,868	20,238
5	11,992	10,741	20,286
7	12,639	11,769	13,792
9	12,617	12,015	13,312

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 14, notamos o *jitter* relativo a rede cabeada. Os valores apresentados, variaram pouco, ficando entre 1,548ms e 2,150ms. Os valores obtidos foram considerados baixos, logo, a rede cabeada mostrou-se satisfatória para aplicações de *streaming*, que exige um *jitter* de no máximo 40ms (VOIP STUDIO, 2015).

Tabela 14 – *Jiter* da rede cabeada.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	1,646	1,453	1,842

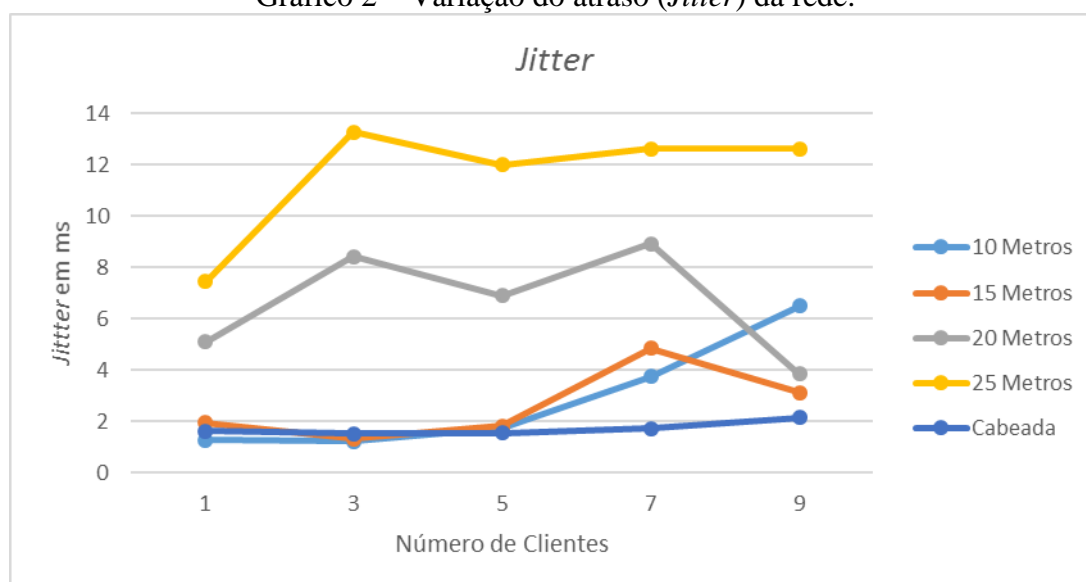
3	1,548	1,452	1,597
5	1,552	1,496	1,604
7	1,746	1,649	1,893
9	2,150	1,892	2,900

Fonte: elaborada pelo autor.

No gráfico 2, podemos observar o *jitter* relativo à todas as variações, tanto de clientes, quanto das distâncias entre os nós da rede. Nele, podemos perceber que o *jitter*, dentre as outras medidas, sofreu com altas variações na rede *mesh*. O número de clientes provocou um fluxo de informações maior, e o encaminhamento por múltiplos saltos, forçou o fluxo intenso a passar pelo segundo salto, aumentando o atraso, que será abordado na próxima subseção, e sua variação, o *jitter*.

A rede cabeada manteve resultados consideravelmente baixos, atingindo, no pior caso, apenas 2,150 milissegundos. Se relacionadas as amostras obtidas pela rede sem fio, o teste cabeado mostrou uma maior qualidade nos resultados das amostras.

Gráfico 2 – Variação do atraso (*Jitter*) da rede.



Fonte: Produzido pelo autor.

6.3 Perda de Pacotes

A perda de pacotes, é uma das métricas que mais influenciam no resultado das demais, pois uma perda elevada pode influenciar no desempenho da rede como um todo. Segundo a Anatel (2016), uma prestadora de serviços deve garantir uma taxa de perdas de pacotes de no máximo 2%. A seguir, as tabelas 15, 16, 17, 18, 19 e o gráfico 3 mostrarão o desempenho obtido em relação a perda de pacotes nos cenários teste.

Na tabela 15 podemos observar que a taxa de perda de pacotes da rede com 10 metros de distância entre os nós, obteve perdas muito baixas, que variaram entre 0,002% dos pacotes perdidos até 0,111%, vale ressaltar que a margem de erro das amostras se sobrepõem, isso leva a uma indefinição de qual dos casos obteve melhor desempenho.

Tabela 15 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,091	0,033	0,209
3	0,005	0,002	0,110
5	0,002	0,001	0,003
7	0,018	0,014	0,020
9	0,111	0,082	0,170

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 16 temos a perda de pacotes da rede com 15 metros de distância entre os nós. Apesar do aumento da distância, a rede obteve uma média valores melhores que os captados com uma distância menor, com taxas que variam de 0,004% a 0,134%.

Tabela 16 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,009	0,001	0,030
3	0,004	0,003	0,005
5	0,134	0,108	0,195
7	0,016	0,012	0,024
9	0,008	0,007	0,009

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 17 são apresentados os dados relativos a perda de pacotes da rede com 20 metros de distância entre os nós. Como já foi mencionado anteriormente, o salto extra que é feito na rede com distâncias entre os nós acima de 20 metros pode ter influenciado no resultado final dos testes, onde a perda manteve-se entre 0,018% e 0,404%, taxa que supera os valores obtidos em testes anteriores.

Tabela 17 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,018	0,003	0,080
3	0,031	0,019	0,125
5	0,022	0,013	0,030
7	0,049	0,036	0,073
9	0,404	0,379	0,420

Fonte: elaborada pelo autor.

Os dados apresentados na tabela 18 são relativos a rede com 20 metros de distância entre os nós. Apesar de não ter sofrido com perdas maiores que as apresentadas no teste anterior, a rede com 25 metros entre os nós manteve um desempenho consistente, perdendo apenas 0,170% dos pacotes no pior caso.

Tabela 18 – Perda de pacotes com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,004	0,002	0,020
3	0,118	0,042	0,235
5	0,079	0,036	0,250
7	0,170	0,148	0,199
9	0,162	0,147	0,177

Fonte: elaborada pelo autor

Na tabela 19, estão representados os valores de perda de pacotes obtidos na rede cabeada. Como a rede infraestruturada não sofre com os obstáculos presentes na rede *wireless*, como a interferência de canais, ela manteve a perda de pacotes em 0% ao longo de todos os testes.

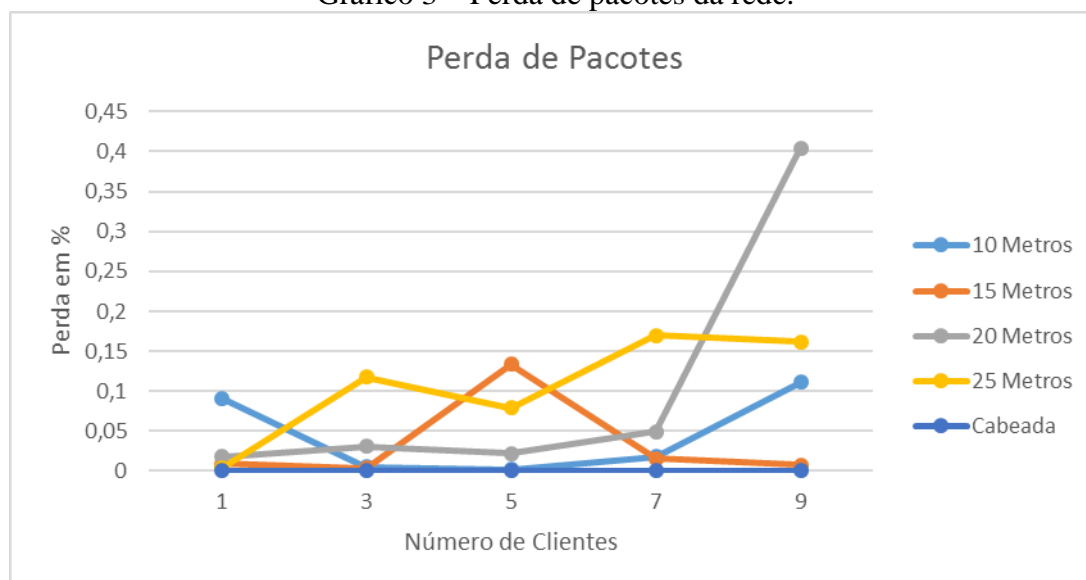
Tabela 19 – Perda de pacotes da rede cabeada.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	0	0	0
3	0	0	0
5	0	0	0
7	0	0	0
9	0	0	0

Fonte: elaborada pelo autor.

O gráfico 3 mostra a taxa de perda de pacotes da rede. A rede com o protocolo de encaminhamento obteve taxas de perda de pacotes pequenas, que podem ter sido causadas pelo alto fluxo de dados gerado pelos clientes e a distância entre os nós, sendo que no seu pior momento nos testes ela obteve uma perda de apenas 0,4%, enquanto no restante dos testes ela oscilou entre 0% e 0,2% dos pacotes perdidos. Já a rede cabeada como já era o esperado, manteve a perda de pacotes em 0% ao longo de todos os testes.

Gráfico 3 – Perda de pacotes da rede.



Fonte: Produzido pelo autor.

6.4 Latência

No teste de conectividade foi utilizada a ferramenta FPING para testar se os dispositivos que faziam parte da rede estavam acessíveis ou não, e também para obter uma das métricas avaliadas neste trabalho, a latência. Através da ferramenta FPING e seus comandos foi criado um *script* presente no apêndice C, que realizou os testes na rede. Durante os testes, o *script* mandava pacotes ICMP para todos os *hosts* da rede, e ao final do teste o *script* recolhia as informações, apresentando a latência individual de cada *host* e os dados da rede como um todo.

No gráfico e tabelas a seguir, serão mostrados os dados relativos à latência de cada um dos tipos de rede utilizadas neste trabalho, de acordo com as distâncias entre os nós da rede.

Na tabela 20, estão listados os dados da rede *mesh* em conjunto com o protocolo de camada 2 B.A.T.M.A.N-adv. Nela, vemos que apesar da distância entre os nós ser de apenas 10 metros, a rede obteve uma latência alta, principalmente se considerarmos que se trata de uma implementação local. Nota-se que a rede oscilou entre 28,500ms e 88,950ms.

Tabela 20 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 10 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	28,500	20,500	35,500
3	76,,250	43,050	128,750
5	55,500	45,500	65,500
7	69,500	52,000	87,000
9	88,950	54,390	152,645

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 21, temos as medidas equivalentes a rede *mesh* em conjunto com o protocolo de camada 2 B.A.T.M.A.N-adv, e uma distância de 15 metros entre os nós. Os testes realizados nesse cenário mostraram uma latência alta, que oscilou entre 29,500ms e 101,500ms.

Tabela 21 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 15 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	29,500	23,000	36,500
3	42,775	33,000	52,500
5	47,000	35,500	58,500
7	74,250	60,500	87,500
9	101,500	77,500	126,000

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 22, no cenário da rede com 20 metros entre os nós, a rede conseguiu uma leve melhora, porém, a latência da rede continua alta, entre 8,390ms e 167,350ms.

Tabela 22 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 20 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	8,390	3,265	18,190
3	29,545	10,350	50,850
5	20,290	8,445	33,995
7	40,555	21,600	62,150
9	167,350	123,199	241,499

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 23, no cenário com 25 metros entre os nós, a rede obteve aumento na latência, que se manteve entre 15,165ms e 112,449ms. Os valores muito altos obtidos ao longo de todos os testes, evidenciam um problema crônico dessa rede em relação a latência.

Tabela 23 – Latência da rede com B.A.T.M.A.N-adv para 25 metros.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	15,165	8,505	31,965
3	47,400	24,600	119,65
5	97,400	43,950	165,400
7	187,300	111,450	241,549
9	112,449	87,749	142,449

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 24 podemos observar a latência da rede cabeada, que se manteve entre 3,499ms e 4,999ms. Os resultados obtidos para a rede cabeada foram considerados altos, porém estes valores podem ser justificados pela sobrecarga dos pontos de acesso em alguns momentos dos testes, causando lentidão nas respostas das requisições ICMP.

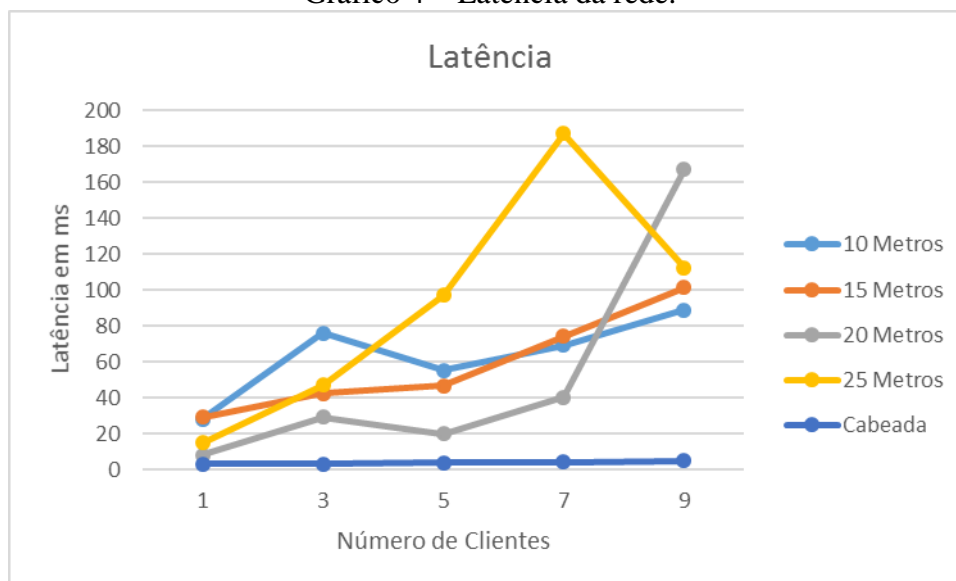
Tabela 24 – Latência da rede cabeada.

Número de Clientes/Medidas	Mediana	Limite Inferior	Limite Superior
1	3,500	2,999	4,500
3	3,499	3,000	3,999
5	4,000	3,499	5,499
7	4,500	4,000	5,499
9	4,999	3,999	6,499

Fonte: elaborada pelo autor.

No gráfico 4, podemos ver a latência obtida pela rede *mesh* sem fio. Os valores obtidos em testes mostram que possivelmente o alto fluxo de dados, gerado pelo número de clientes, podem ter influenciado na depreciação dos valores obtidos, visto que é normal, uma vez que quanto mais distante um nó fica do outro, o roteamento por múltiplos saltos vai sendo forçado e quanto maior o número de clientes, mais fluxo passará pelos *links wireless* e mais alta será a latência, porém, a rede mostrou-se ineficiente com relação ao atraso, obtendo resultados muito acima do esperado para uma rede local e por vezes acima do limite de 150ms estabelecido para garantir a qualidade em uma chamada de voz. Podemos observar que a rede cabeada mantém sua consistência e confiabilidade, mesmo após receber mais clientes, aumentando a sobrecarga de pacotes na rede. Pode-se observar também que a cada novo teste, que inclui novos clientes, o atraso da rede tende a aumentar devido ao aumento na quantidade de dados passando através da infraestrutura da rede, porém, a latência obtida na rede cabeada ainda é muito satisfatória.

Gráfico 4 – Latência da rede.



Fonte: Produzido pelo autor.

7 DISCUSSÃO

Nesta seção serão abordados os resultados obtidos nos testes e a análise destes com base em seu desempenho.

A rede que utiliza o protocolo B.A.T.M.A.N-adv manteve ao longo dos testes, medidas inferiores em todas as métricas analisadas se comparadas com a rede infraestruturada. Porém a rede *wireless* apresentou valores aceitáveis, mesmo tendo possivelmente ter sofrido com interferências, que podem ter influenciado nos resultados obtidos.

Pode-se perceber que nos testes de geração de tráfego, a rede que utilizava cabeamento entre suas ligações, teve um desempenho bem consistente como já era esperado. Manteve a largura de banda no máximo que a rede pôde oferecer (1,05 Mbits/s), e quase não variou em todos os testes.

Na rede *mesh* sem fio, a largura de banda da rede manteve-se constante em alguns casos, com valores acima de 1 Mbits/s, e por vezes próximas à 1,05 Mbps, porém apresentando valores inferiores aos obtidos na rede cabeada, sendo tal variação possivelmente influenciada pela quantidade de clientes enviando na rede ao mesmo tempo.

Basicamente, a rede que utilizou a solução de camada 2 para encaminhamento dos pacotes, obteve resultados aceitáveis para uma rede sem fios, apesar de obter valores um pouco baixos em determinados trechos dos testes.

A perda de pacotes na rede cabeada alcançou o resultado esperado, onde não ocorreram perdas ao longo dos testes, fazendo da rede cabeada a melhor opção quanto as aplicações que necessitem de uma taxa de perdas baixa.

A rede *mesh* obteve taxas de perdas de pacotes baixas, que não passaram de 0,4% ao longo de todos os testes. Portanto, a rede se comportou bem, obtendo taxas de perda de pacotes baixas, que iam de 0% a 0,4% dos pacotes perdidos, ficando dentro do estabelecido pelas normas da Anatel, com uma perda de até 2%. Isso mostra que essa rede conseguiu realizar uma entrega de dados próxima à rede com infraestrutura.

O *jitter* é uma medida importante as aplicações de *streaming* e chamada VoIP por exemplo. Um *jitter* elevado pode interferir muito na qualidade de uma transmissão de dados em tempo real, sendo a medida equivalente a 40ms o máximo que o *jitter* pode chegar para que não inviabilize a comunicação. Na rede cabeada, o *jitter*, assim como as demais métricas, manteve um desempenho consistente, atingindo valores pouco acima de 2ms.

Nos testes relativos ao *jitter* da rede com B.A.T.M.A.N-adv obtivemos uma variação muito alta, chegando a 13,270ms. Apesar das altas taxas de variação do atraso, este manteve seus valores dentro do limite esperado para que haja garantia de uma rede funcional, no que diz respeito ao suporte de aplicações multimídia (VOIP STUDIO, 2015)., portanto, a rede *mesh* não obteve o desempenho esperado nos testes, obtendo resultados inferiores aos apresentados pela rede cabeada em relação ao *jitter* da rede.

A latência referente a rede cabeada, obteve resultados convincentes, que variaram de 3,500ms a 4,999ms, oferecendo uma rede com um bom tempo de resposta às requisições. Isso confirma o bom desempenho da rede em relação a variação do atraso (*jitter*), que obteve resultados excelentes.

A latência da rede *mesh*, não obteve bons resultados, apresentando uma latência que variou de 8,445ms à 187,300ms. A sobrecarga de pacotes na rede pode ter provocado alta variação nas amostras, fazendo com que ela apresentasse resultados abaixo do esperado refletindo um problema encontrado na rede ao longo dos testes. Porém, a rede *mesh* sem fio conseguiu manter um desempenho aceitável na maior parte dos testes, mantendo a latência abaixo de 150 ms, o máximo estabelecido para uma boa qualidade em uma comunicação de voz (TELECO, 2016).

No geral, a rede *mesh* sem fios obteve um desempenho inferior em todos os testes, em relação ao oferecido pela rede infraestruturada, sendo uma opção a se considerar para quem deseja uma rede barata, sem que haja perda excessiva de desempenho.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tinha o objetivo de avaliar a viabilidade de implantação de uma rede *mesh* de baixo custo, a fim de diminuir os altos gastos na instalação de uma rede com infraestrutura, sem que se tenha uma perda considerável de desempenho.

Para alcançar nossos objetivos tivemos que realizar testes para obter as métricas necessária para determinar a qualidade de transmissão da rede.

Os testes foram aplicados em uma implementação real no bloco 2 primeiro andar da Universidade Federal do Ceará no campus de Quixadá, ocupando as salas 3 e 4, além do laboratório de redes de computadores e o corredor.

A rede *mesh* sem fio, mostrou ser de rápida e fácil instalação e de baixo custo, atingindo um dos propósitos deste trabalho que era montar uma rede de baixo custo de forma fácil, e ter a flexibilidade de implantá-la em qualquer lugar, de modo que ao se ver necessária uma possível alteração de local, esta possa ser replantada em outro local facilmente.

Nos testes de geração de tráfego podemos observar que a rede com infraestrutura, manteve seu desempenho constante e sem grandes variações, confirmando sua confiabilidade. Já a rede *mesh* sem fios, por vezes mostrou-se suscetível a possíveis interferências externas, prejudicando métricas importantes como a latência e o *jitter*.

Apesar da rede ser suscetível à possíveis interferências externas, a rede implementada mostrou resultados aceitáveis, mesmo alcançando resultados inferiores aos obtidos na rede infraestruturada.

A perda de pacotes na rede *mesh* sem fios manteve resultados próximos a 0, tais resultados permaneceram com valores abaixo do limite máximo aceitável de 2%, determinando a confiabilidade na entrega dos dados.

A rede cabeada apresentou um desempenho impecável, não perdendo nenhum dos pacotes nas suas baterias de testes, a rede *mesh* sem fio também manteve uma boa taxa de entrega de pacotes, obtendo perdas de no máximo 0,4%. Vale ressaltar, que apesar dos valores de largura de banda terem em seus valores quedas consideráveis em dados momentos, pode-se justificar tal comportamento atribuindo-os à perdas de pacotes em alguns dos trinta testes realizados, porém rapidamente o protocolo de camada 2 B.A.T.M.A.N-adv corrigiu os problemas de rede, reduzindo as perdas logo em seguida para pouco mais de 0%.

O *jitter* foi uma das métricas que divergiram mais sobre o desempenho da rede *mesh*, pois este obteve resultados inferiores aos da rede cabeada, porém, os resultados obtidos foram aceitáveis, ficando dentro do limite de 40ms estabelecidos para viabilizar aplicações multimídia. Isso pode ser justificado pela latência alta que foi coletada na rede sem fio, já que o *jitter* é a variação deste.

A latência definiu a eficiência no tempo de resposta da rede em relação aos pacotes ICMP enviados pela ferramenta FPING. Apesar de apresentar bons resultados no início dos testes, a rede *mesh* utilizada obteve latência muito superior ao encontrado na rede cabeada. Contudo, a rede mostrou na maioria dos casos uma latência aceitável inferior a 150ms, nos casos em que a latência da rede foi maior que o limite máximo para aplicações multimídia, o fluxo intenso gerado pelos clientes pode ter provocado anormalidades nos resultados das medições.

Vale ressaltar, que em alguns casos, os valores expostos nas tabelas e gráficos, tiveram suas margens de erro sobrepostas, portanto, estando tecnicamente empatados, inviabilizando a identificação dos melhores casos de utilização.

Por fim, conclui-se que a rede *mesh* sem fios, atendeu aos objetivos estabelecidos neste trabalho, oferecendo, uma rede de baixo custo, de fácil implantação e que oferecendo um desempenho aceitável, podendo ser utilizada em redes locais de pequeno e médio porte, sem que haja perda considerável de desempenho.

REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, I. F., WANG, X., WANG, W. **Wireless mesh networks: a survey**. In Computer Networks, 2005, p. 445-487.

ALOTAIBI, E., MUKHERJEE, B. **A survey on routing algorithms for wireless Ad-Hoc and mesh networks**. In Computer Networks, 2012, 56(2), p. 940–965.

ANATEL. **Resolução nº 574, de 28 de outubro de 2011**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/26-2011/57-resolucao-574>>. Acesso em: 15 dec. 2016.

BANANI, D., SUDIPTA, R. **Load Balancing Techniques for Wireless Mesh Networks: A Survey**. In International Symposium on Computational and Business Intelligence, 2013, p. 247–253.

BLUETOOTH. **What is Bluetooth technology**. Bluetooth. 2014. Disponível em: <<http://www.bluetooth.com/Pages/what-is-bluetooth-technology.aspx>>. Acesso em: 13 mai. 2014.

- BRITO, I. V., et al. **OpenWiMesh: um Framework para Redes Mesh Sem fio Definidas por Software**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 32th, 2014, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: 2014, p.413-426.
- BRITO, S. H. B., **Novo Padrão NBASE-T de Gigabit Ethernet**. 2016. Disponível em: <<http://labcisco.blogspot.com.br/2016/03/novo-padrão-nbase-t-de-gigabit-Ethernet.html>>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- CANALTECH. **O que é largura de banda**. 2016. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/o-que-e/o-que-e/o-que-e-largura-de-banda/>>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- CARDOSO, T. M.; MARQUES, P. C. F. FURLANETTO, P. C. Rede Mesh: topologia e aplicação. In **Revista iTEC**, v. 4, n. 4, p. 16, jul. 2012.
- CERDÀ-ALABERN, L.; NEUMANN, A.; ESCRICH, P., **Experimental Evaluation of a Wireless Community Mesh Network**, In ACM international conference on Modeling, analysis & simulation of wireless and mobile systems, 2013, p. 23-30.
- CHENG, J. et al. **From Architecture to Implementation for IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks**. In International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 11th. 2015
- CHESHIRE, S., **Latency and the Quest for Interactivity**. 1996. Disponível em: <<http://www.stuartcheshire.org/papers/LatencyQuest.html>>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- CORE. **Common Open Research Emulator**. 2014. Disponível em: <<http://www.nrl.navy.mil/itd/ncs/products/core>>. Acesso em: 04 jun. 2014.
- CUNHA, D. F. et al. **Uma Nova Abordagem para Acesso ao Meio em Redes de Sensores Sem Fio**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 31th, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: 2013, p.3-16.
- DELY, P., KASSLER, A., BAYER, N. **Openflow for wireless mesh networks**. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS AND NETWORKS (ICCCN). 20th, 2011.
- DETTI, A. et al. **Wireless Mesh Software Defined Networks (wmSDN)**. In ... Computing, Networking ..., 9th, 2013, Lyon. p. 89–95.
- FARIAS, M. M. **Protocolo de roteamento para redes wireless mesh**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Faculdade de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- FARIAS, N. N. F. et al. **Pesquisa Experimental para a Internet do Futuro: Uma Proposta Utilizando Virtualização e o Framework Openflow**. In Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 29th, 201, p. 1-62.
- FPING3. **FPING Documentation**. 2016. Disponível em: <<http://fping.org/fping.1.html/>> Acesso em: 23 nov. 2016.

FPING3. **What is fping?**. 2016. Disponível em: <<http://fping.org/>> Acesso em: 23 nov. 2016.

GITBOOK. **Rede Mesh Guia Prático**. 2016. Disponível em: <<https://www.gitbook.com/book/suriyadeepan/mesh-guide>>. Acesso em: 15 dec. 2016.

IEEE 802.11s. **Mesh networking proposal selected for IEEE 802(r) wireless lans**. 2006. Disponível em: <http://standards.ieee.org/announcements/pr_80211sproposal.html>. Acesso em: 04 jun. 2014.

KASHANAKI, M.; BEHESHTI, Z.; MEYBODI, M.R., **A distributed learning automata based gateway load balancing algorithm in Wireless Mesh Networks**, In International Symposium on Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA), 2012, , vol.1, p. 90-94.

KELLER, A. *Asterisk na prática*. 2a Ed. Novatec Editora Ltda, 2011. 336 p.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. 5. ed. São Paulo: Addison-Wesley, 2010.

LARA, A., KOLASANI, A., RAMAMURTHY, B. **Network Innovation using OpenFlow: A Survey**. In IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, p.493–512.

LEJBMAN, A. G. **Redes em malha sem fios**. Alfredo Goldman. 2005. Disponível em: <http://grenoble.ime.usp.br/movel/Wireless_Mesh_Networks.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2014.

LINDNER, M. S. et al., “The B.A.T.M.A.N. Project.”. Disponível em: <<http://www.open-mesh.org/>>. Acesso em: 28 oct. 2016.

MCKEOWN, N. et al. **Openflow: enabling innovation**. In SIGCOMM Comput. Commum, 2008, p. 69-74.

MININET. **Mininet**. Disponível em: <<http://mininet.org/>>. Acesso em: 26 abr. 2014.

MORAES, A. L. D., XAUD, A. F. S., XAUD, M. F. S. **Redes Ad Hoc**. GTA/UFRJ Grupo de Teleinformática e Automação. 2009. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/adhoc/index.html>. Acesso em: 27 abr. 2014.

MORAES, M. et al. **Redes Sem Fio de Múltiplos Saltos Definidas por Software**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 31th, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: 2013, p.17-22

NASCIMENTO, M. R. et al. **RouteFlow: Roteamento Commodity Sobre Redes Programáveis**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 29th, 2011.

ODA, T. et al. **Implementation and Experimental Results of a WMN Testbed in Indoor Environment Considering LoS Scenario**. In IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2015, p. 37-42

- OPENFLOW. **arquitetura**. 2013. Disponível em: <<http://keepingitclassless.net/2013/10/introductionto-open-vswitch/>>. Acesso em: 29 abr. 2014.
- OPENMESH. **Batman-adv**. Disponível em: <<https://www.open-mesh.org/projects/batman-adv/wiki/Wiki>>. Acesso em: 21 set. 2016.
- OPENWRT, **OpenWRT Wireless Freedom**. 2016. Disponível em: <<https://openwrt.org/>>. Acesso em 23 nov. 2016.
- PRACIANO, E. **Use o fping para escanear sua rede**. 2014. Disponível em: <<https://elias.praciano.com/2014/02/use-o-fping-para-scanear-a-sua-rede/>> Acesso em: 23 nov. 2016.
- RAJARAMAN, R. **Topology control and routing in ad hoc networks: a survey**. In ACM SIGACT News, 2002, p. 60-73
- RODRIGUES, A. S. et al. Implementação de uma rede mesh segura utilizando o protocolo OLSR aplicada a Smart Grids. In **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 3, n. 6, Edição Especial UFSM, p. 170-189, ago. 2016.
- ROUTEFLOW. **RouteFlow**. CPqD. 2014. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br/tags/routeflow>>. Acesso em: 13 mai 2014.
- SA365. Qual a importância da conectividade para a sociedade. 2016. Disponível em: <<http://soc.ag/2015/05/qual-a-importancia-da-conectividade-para-a-sociedade/>>. Acesso em: 07 dec. 2016.
- SAADE, D. C. M. et al. **Redes em Malha: Solução de Baixo Custo para Popularização do Acesso à Internet no Brasil**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 25th, 2007, Recife.
- SANTOS, E. B, et al. **Redes em Malha Sem Fio**. GTA/UFRJ Grupo de teleinformática e automação. 2014. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/malha/introducao.html>. Acesso em: 26 abr. 2014.
- SHEITER, .D, KONIG, A. e HOLLICK, M. **Routing performance of Wireless Mesh Networks: A practical evaluation of BATMAN advanced**. In IEEE 36th Conference on Local Computer Networks (LCN), 2011.
- SILVA, P. H. D, ALVES, N. J. **Ferramenta IPERF: geração e medição de Tráfego TCP e UDP**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. 2014. Disponível em: <<dx.doi.org/10.7437/NT2236-7640/2014.02.003>>. Acesso em: 23 nov. 2016.
- SOFTWARE. **software defined networking arquitetura**. 2013. Disponível em: <<http://www.opennetsummit.org/why-sdn.html>>. Acesso em: 29 abr. 2014.
- TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 4ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier: Campus, 2003, 945p.

TELECO. **Protocolos de Roteamento**. 2016. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialprotocolo/pagina_2.asp>. Acesso em: 15 dez. 2016.

TELECO. **Tutoriais Banda Larga**. 2016. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialqosqoe/pagina_2.asp>. Acesso em: 15 dez. 2016.

TERRA, P.R.S.; LIMA, J.B.N. **Governança corporativa e a reação do mercado de capitais à divulgação das informações contábeis**. Revista contabilidade e finanças. São Paulo. Vol. 4, n. 42, p. 35-49, set./dez. 2006.

TP-LINK. **Roteador Wireless N 150Mbps TL-WR740N**. 2016. Disponível em: <<http://www.tp-link.com/en/products/details/?model=TL-PA2010kit>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

VIDAL, A. et al. **Building upon RouteFlow: a SDN development experience**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 31th, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: 2013, p.879–892.

VILLAPOL, M. E. et al. **Performance comparison of mesh routing protocols in an experimental network with bandwidth restrictions in the border router**. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 28, n 1, pp. 7-14, 2013

VIOP STUDIO. **VoIP And How Much Jitter Is Acceptable**. 2015. Disponível em: <<https://voipstudio.com/voip-how-much-jitter-is-acceptable/>>. Acesso em: 07 dec. 2016.

WALAN. **Wireless Ad-hoc and Local Area Network Research Lab**. 2014. Disponível em: <<http://www.ece.ncsu.edu/wireless/>>. Acesso em: 04 jun. 2014.

ZUCCHI, W. L., AMÂNCIO, A. B. **Automação Industrial e o Protocolo Ethernet**. RTI Redes, Telecom e Instalações, v. 165, p. 84-87, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Script para filtragem de dados gerados pelo IPERF.

```
#!/bin/bash
```

```
#$1 == caminho do arquivo de dados
```

```
#faz backup do arquivo original na pasta de origem
```

```
cp $1/dadosServidor.txt $1/dadosServidor.txt.backup
```

```
# apaga linhas que começam com SUM
```

```
sed -i '\bSUM/d' $1/dadosServidor.txt
```

```
# apaga linhas que começam com local
```

```
sed -i '\blocal/d' $1/dadosServidor.txt
```

```
# apaga linhas que terminam com out-of-order, pacotes fora de ordem.
```

```
sed -i '/out-of-order\b/d' $1/dadosServidor.txt
```

```
# pega coluna Transfer Bandwidth jitter Lost e total # $5 valor transfer, $7 valor bandwidth,  
$9 valor jitter, $13 %Lost
```

```
awk '{print $5 " " $7 " " $9 " " $13}' $1/dadosServidor.txt > $1/saida.txt
```

```
#Elimina linhas que não começam com números
```

```
sed -i 's/(/)' $1/saida.txt
```

```
sed -i 's/)/)' $1/saida.txt
```

```
sed -i 's\.\./g' $1/saida.txt
```

```
#sed -i '\b[a-z]/d' $1/saida.txt
```

APÊNDICE B – Script para filtragem de dados gerados pelo FPING.

```
#!/bin/bash
```

```
#$1 == caminho do arquivo de dados
```

```
#faz backup do arquivo original na pasta de origem
```

```
cp $1/PingRedeMesh.txt $1/PingRedeMesh.txt.backup
```

```
# apaga linhas que tem as palavras loss, target, alive, unreachable, addresses, response, sent, received e linhas vazias.
```

```
sed -i '\bloss/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\btarget/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\balive/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\bunreachable/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\baddresses/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\bresponse/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\bsent/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\breceived/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '\bsec/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
sed -i '^$/d' $1/PingRedeMesh.txt
```

```
# pega coluna Transfer Bandwidth jitter Lost e total # $5 valor transfer, $7 valor bandwidth, $9 valor jitter, $13 %Lost
```

```
awk '{print $1 " " $2 " " $3}' $1/PingRedeMesh.txt > $1/saidaPing.txt
```

```
#Substitui parênteses por espaço e pontos por vírgula
```

```
sed -i 's/(/"' $1/saidaPing.txt
```

```
#sed -i 's/)/"' $1/saida.txt
```

```
sed -i 's\.\./g' $1/saidaPing.txt
```

```
#sed -i '\b[a-z]/d' $1/saida.txt
```


APÊNDICE C – Script para inicialização e redirecionamento de *log* do servidor.

```
#!/bin/bash
```

```
#Inicia o servidor IPERF para tráfego UDP.
```

```
Iperf -s -u >> dadosServidor.txt
```

APÊNDICE D – Script para inicialização dos clientes IPERF.

```
#!/bin/bash
```

```
#$1 = IP do servidor IPERF.
```

```
#$2 = Número de clientes IPERF.
```

```
#$3 = Quantidade de repetições
```

```
$3 = 30
```

```
for i in $3
```

```
do
```

```
Iperf -c $1 -p $2-u &
```

```
fping -i 1000 -g 192.168.0.0/24
```

```
done
```