

**Murilo Bauer**

***Redes sem fio Mesh: Padrão 802.11s***

São José – SC

outubro / 2012

**Murilo Bauer**

***Redes sem fio Mesh: Padrão 802.11s***

Monografia apresentada à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador:

Prof. Marcelo Maia Sobral, Dr.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES  
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

São José – SC

outubro / 2012

Monografia sob o título “*Redes sem fio Mesh: Padrão 802.11s*”, defendida por Murilo Bauer e aprovada em 22 de outubro de 2012, em São José, Santa Catarina, pela banca examinadora assim constituída:

---

Prof. Marcelo Maia Sobral, Dr.  
Orientador  
IFSC - Campus São José

---

Prof. Ederson Torresini, Msc.  
IFSC - Campus São José

---

Prof. Eraldo Silveira e Silva, Dr.  
IFSC - Campus São José

*Para realizar grandes conquistas,  
devemos não apenas agir, mas também sonhar,  
não apenas planejar, mas também acreditar.*

*Anatole France*

# *Agradecimentos*

Dedico meus sinceros agradecimentos aqueles que muito me ajudaram para concluir este trabalho. Aos meus colegas de curso do IFSC, os quais sempre me ajudaram durante a realização do curso de Telecomunicações. Agradeço ao meu orientador Dr. Marcelo Maia Sobral, pela apoio que sempre disponibilizou e a forma de orientação deste trabalho. À minha namorada Tamiris ofereço um agradecimento especial, por ter vivenciado comigo passo a passo todos os detalhes deste trabalho, ter me ajudado, durante toda o processo, por ter me dado todo o apoio que necessitava nos momentos difíceis, por todo carinho e respeito. Agradeço a minha família, pois me deram toda a estrutura para que me tornase a pessoa que sou hoje. Pelo apoio e paciência durante todo o curso. Agradeço a todos aqueles que aqui não foram mencionados, mas de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

# Resumo

O uso da rede sem fio está disponível hoje em diversos dispositivos, como notebooks, tablets e celulares usando tecnologias como Wi-fi (IEEE 802.11) e Bluetooth. Um atrativo para o uso dessas redes reside em seu baixo custo de implantação e na possibilidade de obter uma conexão de dados em qualquer ponto dentro de uma área de cobertura. Atualmente, as redes locais sem fio costumam se organizar como redes infraestruturadas, em que uma estação base denominada ponto de acesso (AP – Access Point) encabeça um grupo de dispositivos, intermediando suas transmissões. Desta forma, para que dispositivos possam se comunicar pela rede sem fio devem primeiro se associar a algum AP. Assim, caso não exista um AP disponível, a comunicação não pode se efetuar. No entanto outras possibilidades de organização existem, tais como redes ad hoc e redes *Mesh*. Uma rede *Mesh* não necessita de um ponto de acesso para a comunicação entre dispositivos, pois por definição esses dispositivos podem se comunicar diretamente. Desta forma, cada dispositivo funciona como um roteador dentro da rede sem fio, encaminhando as informações vindas de seus vizinhos de forma cooperativa. As redes *Mesh* se caracterizam também pela capacidade de seus dispositivos se auto organizarem em caso de mudança da topologia, como devido à perda de um nó, quando então a rede estabelece novos caminhos. De forma análoga, devido à sua capacidade de auto-organização, a rede incorpora um novo nó *Mesh* de forma automática. Por fim, as redes *Mesh* possibilitam a comunicação por múltiplos saltos. Com isso estas redes apresentam desafios, tais como o desenvolvimento de protocolos de roteamento eficientes e também capazes de melhorar o aproveitamento do canal. A rede *Mesh* possui diversas aplicações, entre elas citam-se redes domésticas, institucionais, industriais e metropolitanas. Como exemplo, considere-se um domicílio que possui inúmeros dispositivos, tais como notebooks, celulares e televisões, os quais necessitam em alguns momentos se comunicarem um com o outro ou com a Internet. No caso de uma rede sem fio com ponto de acesso, as mensagens trocadas entre esses dispositivos são por ele intermediadas. Porém, se for usada uma rede *Mesh*, não há a necessidade de intermediação por um ponto de acesso para que dispositivos dentro da rede possam se comunicar. A auto organização na rede *Mesh* ajuda na escolha de melhores caminhos entre dispositivos, de forma que as mensagens sejam transmitidas para um nó vizinho mais apropriado para atingir o destino. Dado o crescente interesse em redes *Mesh*, alguns fabricantes criaram produtos capazes de implantarem redes com esse tipo de estrutura, porém usando tecnologias legadas. A estrutura da rede *Mesh* no escopo de redes sem-fio IEEE 802.11 é objeto do padrão IEEE 802.11s, cuja elaboração iniciou em 2004 pelo grupo de estudos “s” (Task Group “s” - TGs). A proposta final foi aprovada em julho de 2011 e publicada no final de Novembro de 2011, e em 2012 foi incorporada ao padrão IEEE 802.11-2012. Mesmo antes de ser concluído, diversas empresas, tais como Motorola e Intel, elaboraram produtos seguindo versões preliminares desse padrão. Neste trabalho realizou-se a implantação de uma rede *Mesh* protótipo no IFSC-SJ usando o rascunho do padrão IEEE 802.11s. Para isso foram usados computadores com sistema operacional Linux, cujo kernel 2.6.28 ou superior possui suporte a essa versão do padrão. Com essa rede se realizaram experimentos para medir a vazão, perda de quadros, atrasos fim-a-fim de quadros e estabilidade da topologia da rede *Mesh*.

# *Abstract*

The use of wireless network is available today in many devices such as laptops, tablets and mobile phones using technologies such as Wi-Fi (IEEE 802.11) and Bluetooth. A draw for the use of these networks lies in its low cost of deployment and the possibility of obtaining a data connection anywhere within a coverage area. Currently, wireless local area networks tend to organize themselves as networks infrastructured, in which a base station called Access Point (AP - Access Point) heads a group of devices, mediating their transmissions. In this way, so that devices can communicate over the wireless network must first join any AP. Thus, if there is no AP available, communication can not be effected. However there are other possibilities for the organization, such as ad hoc networks and networks in mesh. A network mesh does not need an access point for communication between devices, since by definition these devices can communicate directly. Thus, each device acts as a router into the wireless network, forwarding the information from its neighbors in a cooperative way. Mesh networks are characterized also by their ability to self organize devices in case of change of topology, such as loss of a node, the network form new paths. Due to its capability of self-organization, the network incorporating a new node in mesh automatically. Finally, in networks mesh allow communication over multiple hops. Thus these networks present challenges as the development of routing protocols able to cope with changes in network topology and also improve the utilization of the channel. The network mesh has many applications, including home networks can be cited, institutional, industrial and metropolitan areas. As an example, consider a household that has a number of devices such as laptops, cell phones, televisions, they need at times to communicate with each other. In the case of a wireless access point, the messages exchanged between these devices are mediated by it. But if you use a network mesh, there is no need for mediation by an access point for devices within the network can communicate. The self-organizing in network mesh helps to choose the best path between devices so that messages are transmitted to a neighboring node to achieve the most appropriate destination. Given the growing interest in networks mesh, some manufacturers have created products to deploy networks with this type of structure, but using legacy technologies. The structure of the mesh network in the scope of wireless networks IEEE 802.11 is the IEEE 802.11s object, whose development started in 2004 by a study group "s"(Task Group "s- TGs). The final proposal was approved in July 2011 and published in late November 2011, being part of the IEEE standard 802.11-2012. Even before it was completed, several companies, such as Intel and Motorola, have developed products following preliminary versions of this pattern. In this work it was deployed a prototype Mesh network in IFSC-SJ, which relied on draft standard IEEE 802.11s. This network was composed by computers running Linux operating system, which kernel 2.6.28 or later supports this version of the proposed standard. Using this network it were performed experiments to measure throughput, frame losses, end-to-end delay and topology stability of the *Mesh* network.

# *Sumário*

## **Lista de Figuras**

## **Lista de Tabelas**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 13
1.1	Motivação . . . . .	p. 15
1.2	Objetivo . . . . .	p. 15
1.3	Organização do texto . . . . .	p. 16
<b>2</b>	<b>Redes sem fio IEEE 802.11</b>	p. 17
2.1	Organização Infraestruturada . . . . .	p. 18
2.2	Organização <i>Ad-Hoc</i> . . . . .	p. 19
<b>3</b>	<b>Padrão 802.11s: Redes sem fio <i>Mesh</i></b>	p. 23
3.1	Arquitetura das redes <i>Mesh</i> no padrão IEEE 802.11 . . . . .	p. 24
3.2	Descoberta de Topologia <i>Mesh</i> . . . . .	p. 25
3.3	Protocolo de roteamento . . . . .	p. 27
3.4	Roteamento Sob-demanda . . . . .	p. 29
3.5	Roteamento proativo . . . . .	p. 30
3.5.1	Mecanismo PREQ proativo . . . . .	p. 30
3.5.2	Mecanismo RANN . . . . .	p. 31
3.5.3	Métrica . . . . .	p. 32
3.6	<i>Mesh Portal Point</i> (MPP) . . . . .	p. 34



3.7	Formato dos quadros 802.11s . . . . .	p. 34
3.7.1	Campo <i>Mesh Header</i> . . . . .	p. 35
3.8	Projetos: usando as redes <i>Mesh</i> . . . . .	p. 36
3.8.1	Programa UCA . . . . .	p. 37
3.8.2	Projeto ReMesh . . . . .	p. 38
3.9	Suporte a Rede <i>Mesh</i> no Linux . . . . .	p. 39
<b>4</b>	<b>Implantação de uma rede local sem-fios <i>Mesh</i></b>	p. 40
4.1	Experimentos e Resultados . . . . .	p. 41
4.1.1	Primeira Etapa . . . . .	p. 41
4.1.2	Segunda Etapa . . . . .	p. 44
4.1.3	Terceira Etapa . . . . .	p. 48
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	p. 51
5.1	Desenvolvimentos Futuros . . . . .	p. 52
<b>Anexo A – Implementação da Rede <i>Mesh</i></b>		p. 53
A.1	Plataforma . . . . .	p. 53
A.2	Formação do <i>Mesh Point</i> (MP) . . . . .	p. 54
A.3	Formação do <i>Mesh Access Point</i> (MAP) . . . . .	p. 55
A.3.1	<i>Bridge</i> . . . . .	p. 55
A.3.2	<i>Hostapd</i> . . . . .	p. 55
A.4	Formação do <i>Mesh Point Portal</i> (MPP) . . . . .	p. 56
<b>Anexo B – Formato dos quadros 802.11</b>		p. 58
B.1	<i>Address Fields</i> (Campo de endereços) . . . . .	p. 58
B.2	<i>Sequence Control Field</i> (Campo de Controle de Sequência) . . . . .	p. 59
B.3	<i>Frame Control Field</i> (Campo Controle de Quadro) . . . . .	p. 59



## *Lista de Figuras*

2.1	Rede sem fio infra-estruturada (ROCHA, 2006) . . . . .	p. 18
2.2	Redes <i>Ad-Hoc</i> (TAMIMI, 2006) . . . . .	p. 20
2.3	Técnica MPR (ALBUQUERQUE, 2008) . . . . .	p. 21
3.1	Componentes de uma rede <i>Mesh</i> IEEE 802.11 (SAADE, 2007) . . . . .	p. 25
3.2	Peer Link 802.11s (ALBUQUERQUE, 2008) . . . . .	p. 27
3.3	Protocolo HWMP (modo sob-demanda)(SAADE, 2007) . . . . .	p. 30
3.4	Protocolo HWMP (baseado em árvore)(SAADE, 2007) . . . . .	p. 32
3.5	Portal Mesh (KNIGHTLY; W., 2008) . . . . .	p. 34
3.6	Quadro do padrão IEEE 802.11 estendido para o uso de redes <i>Mesh</i> (RODRIGUES, 2009) . . . . .	p. 35
3.7	Campo <i>Mesh Header</i> (RODRIGUES, 2009) . . . . .	p. 36
3.8	Transmissão entre dois STAs (ALBUQUERQUE, 2008) . . . . .	p. 36
3.9	Laptops do Projeto UCA . . . . .	p. 37
3.10	Projeto ReMesh (JUN J. E SICHITIU, 2003) . . . . .	p. 38
4.1	Cenários da primeira etapa . . . . .	p. 42
4.2	Cenários da primeira etapa . . . . .	p. 43
4.3	Cenários da primeira etapa . . . . .	p. 43
4.4	Gráfico com os resultados dos diferentes cenários da primeira etapa . . . . .	p. 44
4.5	Cenários da segunda etapa . . . . .	p. 45
4.6	Gráfico com a perda de pacotes e atraso dos quadros - Cenário da figura4.5(a) . . . . .	p. 47
4.7	Gráfico com a perda de pacotes e atraso dos quadros - Cenário da figura4.5(b) . . . . .	p. 47
4.8	Gráfico com a perda de pacotes e atraso dos quadros - Cenário da figura4.5(c) . . . . .	p. 48

4.9	Cenários da terceira etapa . . . . .	p. 49
A.1	Parando o Gerenciador . . . . .	p. 53
A.2	Comando MP . . . . .	p. 54
A.3	iw mpath e station . . . . .	p. 54
A.4	Comando station dump . . . . .	p. 54
A.5	Comando mpath dump . . . . .	p. 55
A.6	Criação de <i>bridge</i> . . . . .	p. 55
A.7	Configuração padrão para .config . . . . .	p. 55
A.8	hostpad.conf . . . . .	p. 56
A.9	.config . . . . .	p. 56
A.10	Execução do hostpad . . . . .	p. 56
A.11	Comando MPP . . . . .	p. 56
A.12	Comando MPP - Portal . . . . .	p. 57
B.1	Quadro do padrão IEEE 802.11 . . . . .	p. 58
B.2	Estrutura do Frame Control . . . . .	p. 59

## *Lista de Tabelas*

3.1	Constantes definidas para ALM . . . . .	p. 33
3.2	Tipos de quadros . . . . .	p. 35
4.1	Tabela de caminhos da estação em movimento . . . . .	p. 46
B.1	Combinações do campo de endereços . . . . .	p. 59

# 1 *Introdução*

Uma rede sem-fio refere-se a uma rede de dispositivos que se comunicam sem necessidade de cabeamento. Um atrativo para o uso dessas redes reside em seu baixo custo de implementação e na possibilidade de obter uma conexão de dados em qualquer ponto dentro de uma área de cobertura, permitindo assim a rede alcançar locais onde redes com fio não chegariam. Isso motivou a publicação dos padrões IEEE 802.11, que especificam um tipo de rede local sem-fio que obteve larga aceitação desde sua primeira versão, em 1997. Hoje o uso de redes locais sem-fio IEEE 802.11 está disponível em diversos dispositivos, como notebooks e celulares, comumente provendo acesso a Internet.

As redes locais sem-fio podem se organizar de forma infraestruturada, *Ad-Hoc* ou *Mesh*. Nas redes infraestruturadas, uma estação base denominada ponto de acesso (AP – *Access Point*) encabeça um grupo de dispositivos, intermediando todas suas transmissões. Para que os dispositivos possam se comunicar pela rede sem fio devem primeiro se associar a um AP. Nas redes ad-hoc não existe uma estação central, e assim um dispositivo pode se comunicar com qualquer outro em seu alcance. Nas redes *Mesh*, que podem ser entendidas como um caso especial das redes ad-hoc, os dispositivos são capazes de determinar caminhos dentro da rede. Com isso, um dispositivo pode usar outros como intermediários para encaminharem quadros para destinos que estejam fora de seu alcance. Essas três abordagens apresentam diferentes graus de aceitação nas implantações de redes IEEE 802.11.

As redes infraestruturadas predominam com larga vantagem nas implementações de redes IEEE 802.11. Isso se deve à relativa facilidade de implantação, e ao uso típico dessas redes para proverem acesso a uma rede local cabeada (e desta para Internet). Nesse caso, os pontos de acesso servem de ponte entre a rede sem-fio e a rede cabeada. As redes ad-hoc são de rara utilização, visto que, para que funcionem a contento (isto é, todos os dispositivos envolvidos possam efetivamente se comunicar), necessitam da configuração e utilização de protocolos de roteamento adicionais que estão fora do escopo dos padrões IEEE 802.11. Por fim, as redes *Mesh* vêm recebendo crescente atenção do meio acadêmico e da indústria como uma alternativa para implantação de redes locais sem-fio.

Nas redes *Mesh*, as estações se comunicam diretamente sem necessidade de intermediação de um ponto de acesso. Caso a estação destino esteja fora de alcance de sinal, os quadros a ela destinados podem ser encaminhados por estações intermediárias. Com isso, as estações possuem função de roteadores, o que as habilita a encaminhar pacotes de forma a manter a conectividade entre todos os dispositivos da rede. Para isso, é possível que algumas estações sejam colocadas de forma estratégica, para cobrir a maior área possível, funcionando como uma infraestrutura estática com a finalidade de prover conectividade a dispositivos de usuários. No caso de estações que estejam a um único salto de distância, isso possibilita que se obtenha um melhor aproveitamento do canal sem fio, por reduzirem as quantidades de transmissões necessárias. As redes *Mesh* possuem capacidade de auto-organização, de forma que novos caminhos entre as estações podem ser formados caso ocorra uma mudança na topologia da rede (ex: causada pela queda de uma estação). Para o acesso a rede cabeada, é suficiente que ao menos uma estação da rede *Mesh* esteja a ela diretamente conectado, o que possibilita que compartilhe seu acesso com os demais dispositivos da rede *Mesh*. Devido a esses atrativos, existe um esforço para que redes IEEE 802.11 possam funcionar como redes *Mesh*.

A estrutura da rede *Mesh* no escopo de redes sem-fio IEEE 802.11 é objeto do padrão IEEE 802.11s, cuja elaboração iniciou em 2004 pelo grupo de estudos “s” (Task Group “s” - TGs). A proposta final foi aprovada em julho de 2011 e publicada no final de Novembro de 2011, sendo parte do padrão IEEE 802.11-2012.

O suporte a redes *Mesh* no padrão IEEE 802.11 especifica um conjunto de mecanismos para que a auto-organização e a comunicação direta entre os nós seja possível, dedicando grande parte para descrição dos protocolos para encaminhamento de quadros na rede. Isso inclui novos formatos de quadros, além de mecanismos para seleção de caminhos e encaminhamento de quadros através de múltiplos saltos na camada de enlace, diferente das soluções tradicionais, que fazem uso da camada de rede. Devido as vantagens da rede *Mesh*, alguns fabricantes ficaram interessados e antes da publicação do padrão IEEE 802.11-2012, se basearam em versões preliminares para criar produtos capazes de implantarem redes com esse tipo de estrutura.

Este trabalho propõe implementar no campus São José do IFSC uma rede *Mesh* segundo a versão preliminar do padrão IEEE 802.11s. De forma a analisar a viabilidade desta rede. Analisando seu desempenho em comparação com uma rede infraestruturada, que será implementada também para os testes. Serão explorados alguns pontos como a mobilidade de uma estação na rede *Mesh*, a vazão da rede utilizando um único salto e múltiplos saltos. Demonstrando até que ponto é vantajoso o uso das redes *Mesh*.

## 1.1 Motivação

As redes sem fio IEEE 802.11 se disseminaram por serem de baixo custo e razoável facilidade de implementação, dentre outros motivos. A indústria trabalha para aprimorar e estender a tecnologia, sendo um exemplo desse esforço o suporte a redes *Mesh*. Dentro de seu escopo estão o possível incremento no aproveitamento da capacidade do canal sem-fio, ao eliminar os pontos de acesso e conseqüentemente suas intermediações nas transmissões entre estações. E a facilidade de implantação da rede sem-fio, por reduzir a infraestrutura necessária para a formação de tais redes.

Segundo esse padrão, estações podem se comunicar diretamente e a conectividade em toda a rede deve ser provida por meio de descoberta de caminhos efetuado diretamente na camada de enlace. O padrão IEEE 802.11s faz uso de protocolos de descoberta de caminhos dinâmico, que na ocorrência de uma mudança na condição da rede, como queda ou acréscimo de uma estação, a rede se adapte de forma automática, sem a quebra de conectividade. Além disso, o padrão possibilita que uma ou mais estações possam prover acesso à rede cabeada (isso é, ao sistema de distribuição) ao resto da rede *Mesh*.

Antes mesmo do padrão ser publicado, diversas empresas, tais como Motorola e Intel, elaboraram produtos seguindo suas versões preliminares, e existe uma implementação no kernel Linux. Há uma versão preliminar em laptops XO's, parte de um projeto para prover inclusão digital a alunos com baixo custo, como o Programa UCA (Um Computador por Aluno) no Brasil. Sendo assim, existem expectativas sobre o funcionamento e o desempenho desse tipo de rede *Mesh*, principalmente ao se comparar com as redes infraestruturadas.

## 1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é implantar uma rede *Mesh* no campus São José do IFSC, avaliando a rede *Mesh* como alternativa para uma rede local sem-fio. A rede *Mesh* implementada deve estar integrada à rede de computadores do campus. Além disso, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Comparar o desempenho dessa rede *Mesh* com uma rede infraestruturada que foi implantada para fins de comparação.
2. Estimar a vazão e influência da métrica nestas redes, tanto no caso de estações estáticas ou móveis.



## 1.3 Organização do texto

O texto está organizado da seguinte forma: O capítulo 2 realiza uma breve introdução sobre as redes sem fio IEEE 802.11, componentes utilizados para formação dessas redes, assim como também os diferentes tipos de organização, redes sem fio infraestruturadas e *Ad-Hoc*, e por último apresenta o formato dos quadros 802.11. No capítulo 3 possui uma breve introdução sobre o padrão 802.11s, descrevendo sua arquitetura, protocolo de roteamento, formato dos quadros 802.11s, seleção de canal e formação da topologia de uma rede *Mesh*, segurança e gerenciamento de energia. Descrição de projetos implementados no Brasil que utilizam o padrão 802.11s e o suporte das redes *Mesh* no Sistema Operacional Linux. O capítulo 4 demonstra os diferentes cenários elaborados e os resultados. O capítulo 5 são as considerações finais dos resultados obtidos. No Anexo A é demonstrado a implementação de cada modo em que a estação *Mesh* pode operar (*Mesh Point*, *Mesh Access Point* e *Mesh Point Portal*). O Anexo B descreve o formato dos quadros 802.11.

## ***2 Redes sem fio IEEE 802.11***

O uso das redes sem fio atualmente pode ser creditado ao surgimento do padrão IEEE 802.11, que proporcionou uma tecnologia de redes locais sem-fio com taxa de bits conveniente, facilidade de implantação e baixo custo. As redes sem-fio IEEE 802.11 possuem diversos atrativos, tais como i) flexibilidade, por possuírem acesso a lugares onde a rede com fio não possui, ii) facilidade na instalação, por não necessitar de cabeamento, utilizando melhor o espaço físico, iii) sua topologia pode ser alterada facilmente, para atender algumas especificações, facilitando a expansão e tornando a manutenção reduzida, e iv) suporte à mobilidade do usuário dentro da área de cobertura sem perda da conexão.

Mas as redes sem fio possuem desvantagens, como a dificuldade em atender requisitos de qualidade de serviço. Diversos fatores contribuem para isso, dentre eles a maior sensibilidade a interferências causadas por outros equipamentos, devido ao uso de rádio na transmissão de dados, elevando assim a taxa de erro; taxa de transmissão muito baixa comparada a rede cabeada; problemas de segurança, pois com o uso de ondas de rádio, os dados podem ser interceptados mais facilmente. Dependendo do tipo de uso destas redes os benefícios proporcionados, largamente compensam seus aspectos negativos, o que pode ser verificado pela disseminação de seu uso.

As redes IEEE 802.11 são compostas por estações que se comunicam por um canal sem-fio. Usam o controle de acesso ao meio (MAC) do tipo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance), que nas redes cabeadas é utilizado para controlar as colisões, enquanto nas redes sem fio é utilizado para a tentativa de evitar colisões, devido ao uso do meio, que neste caso é o espaço. A estação monitora a rede por um período de tempo para verificar se há transmissões, antes de tentar transmitir seus dados, para evitar colisões.

Devido algumas estações não se enxergarem, mas ambas estarem ao alcance do mesmo AP, são utilizadas também algumas ferramentas para a tentativa de evitar as colisões, RTS (Request To Send) e CTS (Clear To Send) antes da transmissão de quadros de dados. A estação que não escutar a transmissão de outra, irá receber o CTS transmitido pelo AP, para indicar que outra

estação está transmitindo, evitando a transmissão durante este tempo. Durante o processo de escuta ao meio, se a estação verificar que este está livre para transmissão, a estação envia o RTS para o AP, que por sua vez, envia o CTS para as demais estações e inclusive para própria estação que solicitou, a qual inicia a troca de dados na rede. Desde da criação do controle de acesso ao meio, praticamente nada se alterou, porém houve grande aperfeiçoamento na camada física (PHY), contendo uma série de emendas (IEEE 802.11 a,b, g, n) que ampliam sua capacidade de troca de dados.

As redes IEEE 802.11 podem se organizar de três formas: redes infraestruturadas, *Ad-Hoc* ou *Mesh*. As próximas seções apresentam as principais características desses modos de operação.

## 2.1 Organização Infraestruturada

Atualmente, a organização infraestruturada é a forma mais comum para implantar redes locais sem fio IEEE 802.11. Neste caso a rede se organiza em um ou mais grupos de estações associadas a um AP, os quais são denominados BSS (Basic Service Set). Uma estação dentro de um BSS se comunica diretamente somente com o AP. Assim, se uma estação quiser transmitir um quadro para outra estação, deve enviá-lo para o AP, que em seguida o transmite para a estação destino. Dois ou mais BSS podem ser interligados por um sistema de distribuição (DS - Distribution System), formando um ESS (Extended Service Set). O sistema de distribuição pode ser formado pela rede cabeada Ethernet ou pela própria rede sem-fio, sendo transparente para as estações o percurso feito pelos quadros transmitidos. Na figura 2.1 mostra um exemplo de organização infraestruturada sem fio.

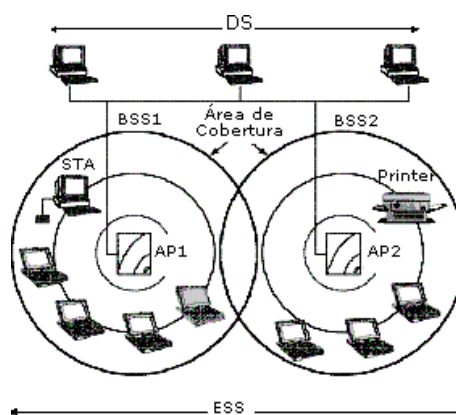


Figura 2.1: Rede sem fio infra-estruturada (ROCHA, 2006)

Uma estação somente pode se comunicar de fato pela rede após ingressar em um BSS. Isso implica identificar seu AP e em seguida trocar alguns quadros de controle para negociar

a entrada no BSS. Resumidamente, os seguintes passos devem ser seguidos pela estação (RUBINSTEIN, 2009):

1. Realizar uma varredura dos canais em busca de APs, anotando os parâmetros de cada BSS identificado - isso inclui o SSID (Service Set Identifier, que identifica o ESS), o endereço MAC do AP (denominado BSSID - Basic Service Set Identifier), parâmetros de segurança do BSS e outras informações.
2. Escolher um AP para se associar, com melhores condições, por exemplo, qualidade do sinal.
3. Autenticar-se no BSS, caso requerido pelo AP, podendo utilizar um mecanismo baseado em chave compartilhada, ou em credenciais individuais fornecidas pelo usuário.
4. Após isto, a estação se torna membro do BSS e assim pode se comunicar pela rede sem-fio.

No caso da qualidade da comunicação entre um dispositivo e o AP a que está associado ficar abaixo do aceitável, torna-se necessário que o dispositivo se associe e autentique com outro AP do mesmo ESS que possa oferecer uma boa qualidade de comunicação. Conhecido como transição de BSS este processo ocasiona uma interrupção no enlace sem-fio, que assim não pode enviar ou receber mensagens enquanto não se associa e autentica a um novo AP da ESS. Pode-se observar que a principal desvantagem da rede sem fio infraestruturada, se comparada com as redes *Ad-Hoc* e *Mesh*, é o caso de não existir um AP disponível, a comunicação entre os dispositivos não será efetuada.

Nas redes infraestruturadas todas as comunicações são intermediadas pelos APs. Assim, para que duas estações associadas ao mesmo AP se comuniquem, uma estação no alcance da outra, devem transmitir para o AP que encaminhará até o destino, sendo necessárias no mínimo duas transmissões. Outro caso seriam duas estações associadas a diferentes APs, uma estação no alcance da outra, seriam necessárias no mínimo três transmissões. Ocorrendo nos dois casos um mal aproveitamento do canal sem fio, o que poderia ser melhorado se a comunicação entre estas estações fosse direta, sendo necessário somente uma transmissão até o destino.

## 2.2 Organização Ad-Hoc

As redes *Ad-Hoc* também são constituídas por estações que utilizam comunicação sem-fio. A principal característica dessas redes é a ausência de infra-estrutura, como pontos de acesso

ou estações-base, existentes em outras redes locais sem-fio. A comunicação entre estações que estão fora do alcance de transmissão deve ser feita pela camada de rede, o que implica o encaminhamento de mensagens por múltiplos saltos através da colaboração de estações intermediárias (NI et al., 1999). Numa rede *Ad-Hoc* não há topologia predeterminada, nem controle centralizado (PIRES; FONTES; REZENDE, 2004).

O conjunto de estações que se comunicam a partir da rede *Ad-Hoc* recebe o nome de IBSS (Independent Basic Service Set).

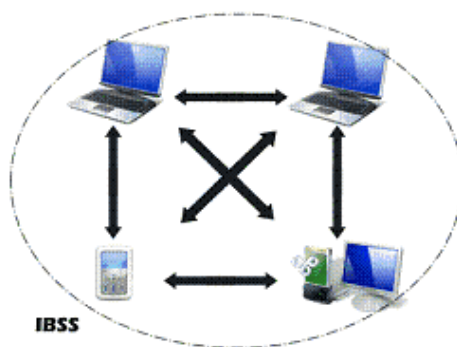


Figura 2.2: Redes *Ad-Hoc* (TAMIMI, 2006)

As estações móveis podem se comunicar de forma direta ou a partir de múltiplos saltos, na forma direta eles se comunicam com o destino que estiver ao seu alcance, já na forma de múltiplos saltos, se comunicam com uma estação destino inalcançável, utilizando uma cadeia de estações móveis alcançáveis para a estação origem quanto para o destino. As estações podem se comunicar diretamente, melhorando o uso do canal. No entanto, os mecanismos necessários devem ser providos por outras tecnologias (i.e. fora do IEEE 802.11). Isso dificulta a implantação de uma rede nesse modo *Ad-Hoc*, e também a otimização do uso do canal.

As redes *Ad-Hoc* possuem algumas vantagens em comparação com as redes infraestruturadas, entre elas estão:

1. Rápida instalação em locais onde não há uma rede infraestrutura instalada.
2. Conectividade: nas redes infraestruturadas as estações dependiam do ponto de acesso, mesmo se próximos, enquanto nas redes *Ad-Hoc* as estações podem se comunicar diretamente, se estiverem na mesma área de alcance.

Em uma rede *Ad-Hoc*, em que estações se movem arbitrariamente, a topologia da rede pode mudar frequentemente e de forma imprevisível. Nesse caso, a conectividade entre as estações móveis pode mudar constantemente, requerendo uma permanente adaptação e reconfiguração de rotas (NI et al., 1999).

Para a comunicação entre as estações, algoritmos de roteamento para as redes *Ad-Hoc*, conforme (XAUD, 2009), são divididos em protocolos reativos e pro-ativos.

**Protocolo reativo:** Estabelecem um rota ao destino somente quando há pacotes a serem enviados. Somente quando necessário.

**Protocolo Pró-Ativo:** São enviados informações para atualizações sobre as estações da rede, em intervalos de tempo fixos para manter as tabelas de roteamento atualizadas.

**AODV**(*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*): é um exemplo de protocolo reativo. Projetado para ser um protocolo adaptativo para cenários de frequente mudança de topologia. Por ser um protocolo reativo, quando necessário envio de pacotes a uma estação destino que não possui na tabela de roteamento, inicia o processo de descoberta de rotas. Quando necessário a descoberta de rotas, a estação de origem envia em *broadcast* o Path Request(PREQ) para seus vizinhos, continuando este processo, até encontrar a estação destino. A estação destino envia um pacote Path Reply (PREP) em unicast para a estação origem, pelo caminho que será formado a comunicação entre estação origem e a estação destino, atualizando a tabela de roteamento das estações pertencentes a esta rota.

**OLSR**(*Optimized Link State Routing*): por sua vez é um exemplo de protocolo proativo, baseado no estado de enlace, usado para evitar a redundância de informação.

Através da escolha de estações para exercerem funções especiais, os MPRs (Multipoint Relays), ele utiliza uma técnica que diminui substancialmente o overhead causado pelas trocas de mensagens de roteamento característico de protocolos pró-ativos. Ao mesmo tempo o OLSR se beneficia da rápida atualização das informações topológicas da rede, muito importante em redes dinâmicas como as *Ad-Hoc*, e da pouca latência no estabelecimento de rotas (ALBUQUERQUE, 2008).

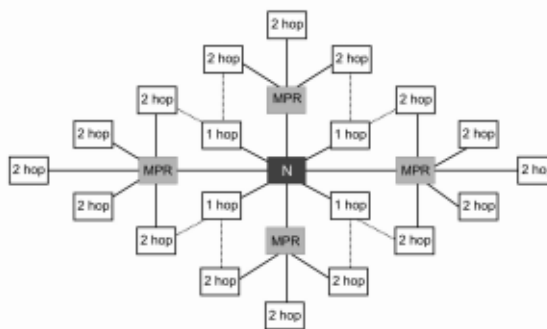


Figura 2.3: Técnica MPR (ALBUQUERQUE, 2008)

Cada estação da rede, chamado de estação seletor, deve selecionar um conjunto de estações para atuarem como MPR. Quando a estação seletor pretende disseminar uma informação pela

---

rede (*broadcast*), apenas as estações MPR irão repassar os pacotes. A diminuição do *overhead* se dá por conta do menor número de retransmissões. O processo de seleção de estações MPR deve se preocupar em escolher um conjunto de MPRs que possam cobrir todos os seus vizinhos de 2 saltos, com isto ele assegura que nenhuma estação irá deixar de receber os pacotes (ALBUQUERQUE, 2008).

### 3 *Padrão 802.11s: Redes sem fio Mesh*

Conforme (TEIXEIRA, 2004), as redes *Mesh* foram financiadas na década de 90 pelos militares americanos na Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), com o objetivo de comunicação fim a fim sem a necessidade de uma estação central. Foi usada pelos militares durante a guerra do Iraque, para a comunicação entre as diversas equipes, onde cada elemento, soldados, tanques e helicópteros, era uma estação da rede. Para os militares, isto evitaria a fragilidade de um ataque a uma estação central, se existente.

No escopo do padrão IEEE 802.11 (SOCIETY, 2011), uma rede local sem-fio *Mesh* foi definida da seguinte maneira: Um BSS da rede *Mesh* (MBSS) é uma WLAN IEEE 802.11 composta por WSTAs autônomas. Dentro do MBSS, todas WSTAs estabelecem enlaces sem fio com WSTAs vizinhas para a troca de mensagens. Além disso, usando a capacidade dessa rede de atravessar múltiplos saltos, as mensagens podem ser transferidas entre WSTAs que não possuem um enlace direto entre si. Do ponto de vista de entrega de dados, a rede funciona como um único domínio de *broadcast*. Assim, todas as WSTAs em um MBSS se comunicam diretamente em nível de enlace, mesmo se não estiverem dentro de alcance direto. A capacidade de múltiplos saltos tem o efeito de aumentar o alcance das WSTAs, e assim ampliar a conectividade da rede local sem fio.

As redes *Mesh* possuem a característica de não necessitar de um ponto de acesso para a comunicação entre os dispositivos, pois estes podem se comunicar diretamente. Cada dispositivo funciona como um roteador dentro da rede sem fio, encaminhando as informações vindas de seus vizinhos de forma cooperativa, ou seja, comunicação entre os dispositivos através de um ou mais saltos, semelhante a uma rede *Ad-Hoc*. As redes *Mesh* são parecidas com as redes *Ad-Hoc*, mas diferem no fato que redes ad hoc são redes que têm topologia altamente dinâmica, não infra-estruturada, e suas estações podem apresentar mobilidade. Por causa disso, precisam de protocolos de roteamento que permitam que isso ocorra com o mínimo de problemas, ao contrário das redes *Mesh* que possuem um *backbone* formado por roteadores sem-fio que mantém a rede com rotas mais estáveis, possuindo uma hierarquia relativamente estática, podendo ter um ou mais pontos de acesso com a rede externa (ZHANG; HU, 2006). Outro ponto



é o protocolo de roteamento, pois enquanto na rede *Ad-Hoc* os usuários devem entrar em um acordo para utilizarem o mesmo protocolo, na rede *Mesh* (em particular no caso do padrão IEEE 802.11) isso faz parte da própria tecnologia e assim se mostra transparente para o usuário. **Nas redes Ad-Hoc, o roteamento ocorre na camada de rede, mas nas redes Mesh isso é realizado na camada de enlace.**

As redes *Mesh* se caracterizam também pela capacidade de seus dispositivos se auto organizarem em caso de mudança da topologia. No caso da perda de uma estação, a rede se reorganiza, formando novas rotas. Devido a sua capacidade de auto-organização, a rede incorpora uma nova estação *Mesh* de forma automática. A auto organização na rede *Mesh* ajuda na escolha de melhores caminhos entre dispositivos, de forma que as mensagens sejam transmitidas para uma estação vizinha mais apropriado para atingir o destino. Com isso estas redes apresentam desafios como o desenvolvimento de protocolos de roteamento capazes de lidar com mudanças na topologia na rede e também escolher rotas que proporcionem transmissões com menos erros e melhor aproveitamento do canal.

Na rede sem fio *Mesh*, somente um ponto precisa estar conectado fisicamente a uma rede que forneça acesso a Internet. Essa estação compartilha sua conexão a Internet, sem o uso de cabos, com todas as outras estações ao seu redor, os quais também compartilham com as estações mais próximos a elas, formando uma espécie de nuvem.

Em uma rede *Mesh*, novas estações são incorporadas de forma automática, devido ao uso de protocolos de roteamento dinâmico na camada de enlace. Isso ocorre sem a necessidade de interferência do usuário, oferecendo a ele comodidade e facilidade para acesso. Essa capacidade desse tipo de rede pode ser útil para diversas aplicações. Entre elas citam-se redes domésticas, institucionais, industriais e metropolitanas. Assim, dado o crescente interesse nas redes *Mesh*, alguns fabricantes criaram produtos capazes de implantarem redes com esse tipo de estrutura, porém usando tecnologias legadas.

### 3.1 Arquitetura das redes Mesh no padrão IEEE 802.11

A rede *Mesh* é composta por estações autônomas que funcionam como roteadores, que podem se comunicar de forma direta ou a partir de múltiplos saltos, encaminhando quadros através de estações vizinhas até o destino. Além disso, podem disponibilizar acesso a outras estações, não participantes da rede *Mesh*, e até mesmo acesso a Internet. Para isto o padrão IEEE 802.11 introduz novos elementos para a rede *Mesh*:

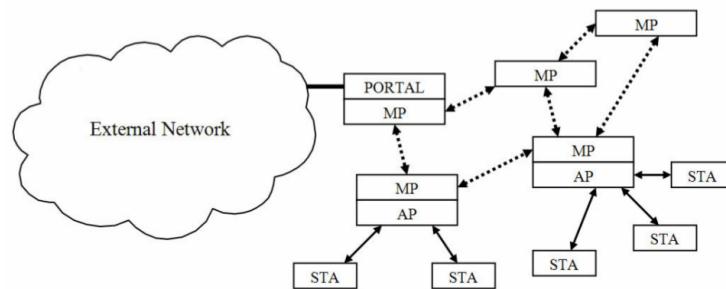


Figura 3.1: Componentes de uma rede *Mesh* IEEE 802.11 (SAADE, 2007)

- **Cliente ou Estação (STA)** - é uma estação que requer serviços, mas não repassa dados, nem participa da descoberta de caminhos feita pelos protocolos de roteamento;
- **Mesh Point (MP)** - é uma estação que participa da formação e operação da rede *Mesh*, repassando dados e participando das descobertas de rotas;
- **Mesh Access Point (MAP)** - é um MP agregado a um ponto de acesso que provê serviços a clientes (STA);
- **Mesh Portal Point (MPP)** - é um MP com uma funcionalidade especial de atuar como um gateway entre a rede *Mesh* e a rede externa (internet, por exemplo);
- **MBSS (Mesh Basic Service Set)** - é um grupo de estações que formam a rede *Mesh*. Podendo conter MP, MAP e MPP. Um MBSS pode conter mais de um MPP.

As estações da rede *Mesh* criam enlaces com seus vizinhos e se comunicam através de caminhos que são descobertos dinamicamente, usando o protocolo de roteamento HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol), conforme será explicado na seção 3.3.

## 3.2 Descoberta de Topologia *Mesh*

Quando uma estação assume função de MP, ele precisa descobrir e participar da rede *Mesh*, estabelecendo pares de comunicações com seus vizinhos participantes da rede *Mesh* (HENRY, 2011).

A principal diferença com o quadro do padrão 802.11 é que as transmissões de *probes* (pedidos e respostas) dos MPs contêm vários elementos novos. Estes elementos formam o que é chamado de "*perfil*" da rede *Mesh*. Um perfil é um conjunto de parâmetros que especificam

os atributos de um MBSS. Esses atributos consistem de um *Mesh ID* e o *Mesh Configuration Element*, que estão explicados logo em seguida. Em um MBSS todos os MPs utilizam o mesmo perfil (HENRY, 2011).

Um MP não pode estabelecer um enlace com outra estação *Mesh*, se os seus perfis são diferentes. Um perfil consiste no seguinte:

- *Mesh ID* - identifica o MBSS, segundo (ALBUQUERQUE, 2008), o campo SSID é setado com um valor especial, para assim evitar que uma estação tente se associar a uma rede *Mesh* por engano.
- *Mesh Configuration Element* - Este elemento contém diversos subcampos que descrevem as capacidades da estação na rede *Mesh*. Como por exemplo o protocolo de roteamento e a métrica para a seleção de caminho.

Após a descoberta das estações na MBSS, com a varredura ativa ou passiva, segundo (ALBUQUERQUE, 2008) os MPs criam e mantêm enlances com outros MPs vizinhos, compartilhando o mesmo perfil. Para criação de um enlace, os MPs utilizam o protocolo *Mesh Peer Link Managent*.

Dois modos de criação de enlace entre vizinhos estão definidas: um modo seguro, por meio da *Authenticated Mesh Peering Exchange* (AMPE), e um modo inseguro através da *Mesh Peering Management* (MPM). Quando a segurança é ativada nas estações da rede *Mesh*, o AMPE é sempre usada. MPM é usado apenas quando a segurança não está habilitado (SOCIETY, 2011).

O estabelecimento de um enlace se inicia pela troca de quadros de gerenciamento do tipo *Action*, com subtipos *Peer Link Open* e *Peer Link Confirm*, de ambos os MPs. No caso de finalizar um enlace entre vizinhos, é enviado um quadro *Peer Link Close* para o MP vizinho.

Os quadros de *probes* (pedidos e respostas) e os quadros *Peer Link Open* e *Peer Link Confirm*, segundo (ALBUQUERQUE, 2008), possuem o *Mesh Configuration Element*. Esse elemento possui subcampos que descrevem a capacidade da estação na rede, como o identificador do protocolo de seleção de caminho utilizado e um identificador da métrica utilizada.

O enlace é então mantido enquanto os MPs estão dentro de alcance mútuo e compartilham o mesmo perfil. O enlace pode ser cancelado se o MP local deixa de ouvir o vizinho por um longo tempo (configurável), quer dizer, se o vizinho não responder dentro de um prazo configurável a um quadro enviado. Isso pode ocorrer também se a estação local exceder o seu número máximo de pares (configurável), se o perfil do vizinho não coincidir com o perfil da estação local mais, ou se houver uma incompatibilidade no parâmetro de segurança entre as estações. Se a estação

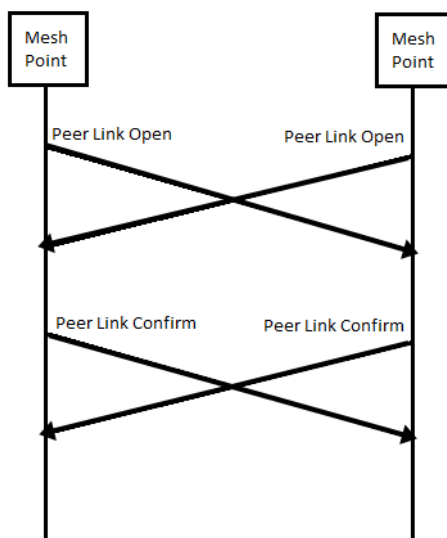


Figura 3.2: Peer Link 802.11s (ALBUQUERQUE, 2008)

vizinho for um caminho para a rede cabeada, a estação local também pode optar por cancelar o enlace se o vizinho deixar de fornecer acesso à rede com fio (HENRY, 2011).

### 3.3 Protocolo de roteamento

O IEEE 802.11s propõe como base para o uso de roteamento para as redes *Mesh*, o protocolo HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol). O protocolo HWMP foi baseado no protocolo AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) (PERKINS; ROYER; DAS, 2003), adaptado para operar na camada de enlace. O protocolo HWMP fornece dois modos de operação: i) roteamento sob-demanda e ii) roteamento proativo (SOCIETY, 2011).

- **Modo sob demanda** - A funcionalidade deste modo está sempre disponível, independentemente se uma estação raiz ou MPP é configurado na MBSS ou não. A descoberta dos caminhos é realizada somente quando necessário. Como exemplo, se uma estação precisar transmitir um quadro a um destino, porém não conhecer um caminho até esse destino, inicia-se a descoberta de caminho sob demanda, conforme explicado na seção 3.4. Esse modo possibilita que os MPs se comuniquem usando caminhos fim a fim.
- **Modo proativo** - Nesse modo, a funcionalidade adicional de construção proativa de uma árvore de caminhos é adicionado ao modo sob demanda. Essa árvore tem como raiz um MP, em que se usam os mecanismos PREQ ativo ou RANN para descobrir caminhos para todas as demais estações da rede. O mecanismo PREQ ativo cria os caminhos a partir

de cada MP para a estação raiz, podendo ser bidirecionais. O mecanismo RANN cria caminhos bidirecionais entre a estação raiz e cada MP.

Segundo (ALBUQUERQUE, 2008), durante o processo de descoberta de um caminho, cada estação participante irá contribuir com seus cálculos de métrica acrescentando ou atualizando dados nos quadros de gerenciamento dedicados à troca de informações de encaminhamento. Independente do modo de operação (proativo ou reativo) as funções do HWMP são implementadas pelos seguintes quadros de gerenciamento:

- *Path Request* (PREQ) – requisição de caminho – estes quadros são enviados em difusão (*broadcast*) por um MP que deseja encontrar um caminho para outro MP.
- *Path Reply* (PREP) – resposta de caminho – estes quadros são enviados pelo MP de destino, em resposta ao recebimento de uma requisição de caminho (PREQ).
- *Path Error* (PERR) – erro no caminho – estes quadros são usados para notificação de que um caminho não está mais disponível.
- *Root Announcement* (RANN) – anúncio da estação raiz – estes quadros são utilizados pela estação que se anuncia como estação raiz. Conforme antecipamos, existem dois mecanismos para implementação do modo proativo no HWMP, sendo o quadro RANN usado em um deles.

Alguns dos campos importantes, contidos nesses quadros de gerenciamento são:

- *HWMP SN* (HWMP Sequence Number) - usado para que os MPs saibam qual o quadro atual. Com a verificação, um quadro que contiver um número de sequência menor do que esperado é descartado. Se o número de sequência for maior ou igual, verifica-se o valor da métrica, de forma a atualizar seu caminho da origem até o destino. A informação atualizada é enviada a suas estações vizinhos.
- *Element TTL* (Time To Live) - Este campo é decrementado por cada MP intermediário, de forma que um quadro não fique circulando eternamente na rede, evitando assim loop.
- *Metric* - Este campo é usado para determinar o melhor caminho entre a estação origem até a estação destino. Quanto menor o valor da métrica, melhor o caminho. Toda vez que uma estação intermediária encaminha o quadro de gerenciamento o campo de métrica é atualizado, para refletir a métrica acumulada do caminho para o MP origem.

## 3.4 Roteamento Sob-demanda

A estação que deseja comunicar com outra estação localizada na rede *Mesh*, verifica se há um caminho em sua tabela de roteamento. No caso de não possuir um caminho ativo, a estação de origem envia um RREQ com o MAC da estação destino especificado na lista de destino. Esse quadro é enviado em *broadcast* para a descoberta do melhor caminho até a estação destino.

O MP intermediário, ao receber o PREQ, cria ou atualiza sua informação de caminho até a estação de origem e envia o PREQ para suas estações vizinhas. Sempre que uma estação encaminha o PREQ, o campo de métrica é atualizado, para refletir a métrica acumulada do caminho para o MP origem. A estação destino, ao receber o RREQ, responde com RREP de forma *unicast*, pelo caminho com melhor métrica, para estabelecer um caminho bidirecional para a troca de pacotes. Os MPs intermediários criam um caminho para a estação destino ao receber o PREP, e enviam o PREP em direção ao MP origem. Quando o MP origem recebe o PREP, ele finalmente pode estabelecer um caminho para o MP destino.

O quadro de gerenciamento PREQ fornece um subcampo chamado TO (Only Target) que, se estiver com valor 1, evita que os MPs intermediários respondam a requisição PREQ. Neste caso, somente o MP destino poderá responder à requisição do MP de origem com o quadro PREP. O efeito da fixação do subcampo TO para 0 é o estabelecimento rápido de um caminho usando o PREP gerado por um MP intermediário, possibilitando o encaminhamento de MSDUs (MAC Service Data Unit) com um atraso baixo de seleção de caminho (SOCIETY, 2011).

Se o MP destino recebe um PREQ com uma métrica melhor, então o destino atualiza seu caminho para o MP origem com um novo caminho e também envia um novo PREP ao MP origem ao longo do caminho atualizado (SOCIETY, 2011).

No caso do MP destino estar fora da rede *Mesh*, a estação de origem não receberá nenhum RREP. Com isso assume-se que o destino está fora da rede *Mesh*. Caso configurado um MPP na rede, a estação origem envia seus quadros a ele. O MPP deve repassá-los para o destino, através de outra estação que o reconheça. O destino, por sua vez, deve responder com RREP *unicast*.

Um exemplo está na figura 3.3, onde a estação 4 verifica que não há um caminho ativo até o destino para a estação destino 9. A estação 4 envia um PREQ (Path Request) em *broadcast* para as estações vizinhas, as quais encaminham também para seus vizinhos, até que estação destino 9 é atingida com o PREQ. A estação 9 assim responde com um PREP (Path Reply) em *unicast* pelo caminho que irá estabelecer até a estação origem 4. Ao fim deste processo a estação origem 4 pode ser comunicar com a estação destino 9.

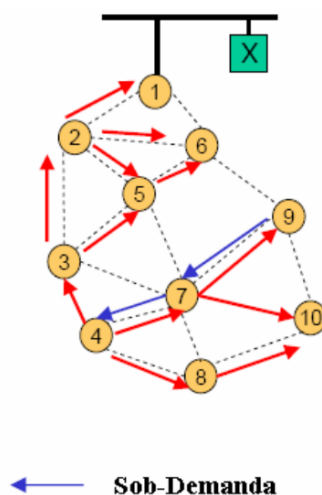


Figura 3.3: Protocolo HWMP (modo sob-demanda)(SAADE, 2007)

## 3.5 Roteamento proativo

Há dois mecanismos para a divulgação de informações na seleção de caminho de forma proativa, para atingir a estação raiz. O primeiro método usa um elemento PREQ proativo e se destina a criar caminhos entre todos os MPs e a estação raiz na rede de forma proativa. O segundo método utiliza um elemento de RANN e destina-se a distribuir informações de caminho para atingir a estação raiz mas não há nenhuma informação de encaminhamento criado. A estação raiz envia o PREQ proativo ou elementos RANN periodicamente (SOCIETY, 2011).

### 3.5.1 Mecanismo PREQ proativo

Segundo (SOCIETY, 2011) o nó raiz envia periodicamente um PREQ em *broadcast*. Cada estação *Mesh* atualiza ou cria um caminho para a raiz ao receber esse PREQ (contanto que a métrica de caminho seja melhor, e o número de série do PREQ seja maior que o PREQ anterior). Esse procedimento é usado para a construção de caminho proativo, quando uma estação é configurada como raiz.

O procedimento inicia com a estação raiz que envia o PREQ proativo, com o endereço destino como *broadcast*. Este PREQ contém a métrica e um número de sequência HWMP SN (HWMP Sequence Number). O PREQ proativo é enviado periodicamente pela estação raiz, com incremento do número de sequência do HWMP SN (SOCIETY, 2011).

Cada MP ao receber o PREQ deve atualizar as informações de encaminhamento para a estação raiz, registrar e atualizar a métrica e a quantidade de saltos para a estação raiz do quadro PREQ, e transmitir o PREQ atualizado para suas estações vizinhas. Após um tempo, a

informação estará em todas as estações da rede *Mesh*.

Um MP pode receber vários PREQs proativos vindos por vários caminhos. Assim, ele deve verificar primeiramente o número de sequência HWMP SN, de forma a descartar pacotes com número de sequência antigos. Se o pacote tiver um número de sequência novo ou igual ao atual, deve verificar se a métrica contida é melhor, de forma a atualizar seu caminho para a estação raiz.

O PREQ proativo contém um subcampo chamado PREP proativo. Se este subcampo for definido como 1, o MP destino pode enviar um PREP proativo. Um PREP proativo é necessário, por exemplo, se o MP tem dados para enviar para estação raiz, exigindo assim a criação de um caminho até a estação raiz. Segundo (ALBUQUERQUE, 2008), mesmo que PREP proativo esteja desativado, uma estação pode responder a estação raiz com um PREP se desejar estabelecer um caminho para até ele. Por exemplo, ele pode ter dados para enviar a estação raiz.

### 3.5.2 Mecanismo RANN

O quadro de gerenciamento RANN é usado para anunciar a presença de uma estação *Mesh* configurada como raiz. Esses quadros são enviados periodicamente pela estação raiz, mas não criam automaticamente os caminhos. Cada estação *Mesh* deve decidir se cria um caminho para a estação raiz anunciado, e caso o faça deve enviar um quadro PREQ e aguardar um PREP.

O quadro RANN propaga informações sobre a métrica em toda a rede de modo que cada estação possa selecionar um caminho com uma melhor métrica até a estação raiz, mas a recepção de um RANN não estabelece um caminho. Este procedimento faz com que a estação raiz conheça todas as estações.

No caso de uma estação configurada como raiz, após a recepção de um RANN, cada MP pode criar ou atualizar um caminho para a raiz. Enviando um PREQ em unicast dirigida a raiz através do MP intermediário a partir do qual recebeu o RANN. A estação raiz envia um PREP em resposta a cada PREQ. O PREQ endereçado individualmente cria o caminho inverso da estação raiz para o MP origem, enquanto o PREP cria o caminho do MP para a raiz.

É importante comentar o papel do quadro PERR dentro do esquema recém descrito. Sempre que um quadro não puder ser encaminhado por uma estação pertencente ao caminho, este deverá notificar o remetente sobre a quebra do enlace e, conseqüente inviabilidade daquele caminho. Esta informação deverá ser encaminhada de volta a todos os participantes anteriores alcançando finalmente o remetente original que, assim, deverá iniciar um novo ciclo de descoberta de caminho (ALBUQUERQUE, 2008).



Na figura 3.4, as estações reconhecem a estação 1 como raiz, através do RANN (Root Announcement). No caso da estação 4 querer enviar um quadro e não possuir um caminho ativo para a estação destino 9, esse quadro é enviado até a estação raiz 1. A estação raiz 1, ao recebê-lo, identifica o destino dentro da rede *Mesh* e o repassa através de uma rota proativa até a estação destino 9. A estação destino, ao receber o quadro, pode enviar um PREQ unicast para a estação origem 4 para estabelecer um caminho mais eficiente que o através da estação raiz 1.

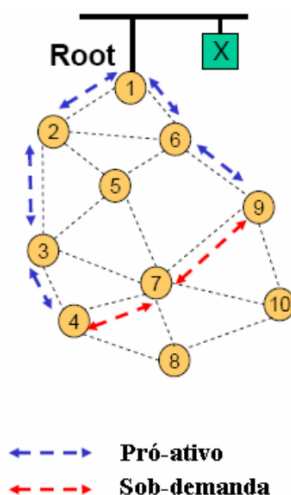


Figura 3.4: Protocolo HWMP (baseado em árvore)(SAADE, 2007)

O protocolo HWMP, por ser um protocolo híbrido que utiliza os dois modos, ativo e reativo, se beneficia de ambos os modos em diferentes circunstâncias. Em algumas circunstâncias seria a utilização do modo sob demanda mais apropriado, como, por exemplo, no caso de duas estações possuírem um caminho melhor do que aquele através do MP raiz. Assim o HWMP permite que não seja obrigatório que os quadros passem pelo MP raiz, utilizando o modo sob-demanda. Por outro lado, com o modo proativo é diminuído o tempo para ser transmitido de um quadro, devido a eliminação de espera para descoberta de um caminho até o destino.

### 3.5.3 Métrica

Estações transmitindo em uma taxa baixa podem usar toda a banda do canal com suas longas transmissões da mesma maneira que um enlace com alta probabilidade de erro pode ocupar o meio por um longo tempo devido às retransmissões. A métrica *Airtime Link Metric* (ALM) foi desenvolvida para evitar ambos os casos (ALBUQUERQUE, 2008). Segundo (ABID, 2010), a métrica é projetada para minimizar o consumo de recursos do canal pela contabilização de taxa de perda e largura de banda.

Segundo (SOCIETY, 2011), o IEEE 802.11 define o ALM, como métrica obrigatória para

definir a qualidade de um enlace sem fio. O ALM representa a quantidade de tempo necessária para a transmissão de um quadro levando em consideração a taxa de transmissão, o *overhead* imposto pela camada física e a probabilidade de retransmissão. O ALM usa a seguinte equação para o cálculo da métrica:

$$ca = \left(O + \frac{Bt}{r}\right) \frac{1}{1 - ept} \quad (3.1)$$

Onde:

$O$  e  $Bt$  são constantes listadas na tabela 3.1.

$r$  - taxa de transmissão em Mbps com que o MP transmite o quadro de teste.

$ef$  - é a probabilidade de erro medida no envio do quadro de teste.

Parâmetro	Valor recomendado	Descrição
$O$	Valor depende Y da implementação da camada PH	Overhead do canal de acesso, que inclui cabeçalhos dos quadros, sequências de formação, quadros de protocolo de acesso, etc
$Bt$	8192	Número de bits do quadro teste

Tabela 3.1: Constantes definidas para ALM

No entanto, a métrica ALM apresenta um efeito *ping-pong* notável cuja natureza foi investigada por (ABID, 2010). Quando um link ativo possui um tráfego carregado, ocorre um aumento o valor da métrica ALM. Este aumento pode ocorrer como consequência de um aumento detectado na taxa de perda no enlace, fazendo a interface sem fio selecionar um modo de modulação mais robusto porém com menor taxa de bits. Com a diminuição da taxa de bits há um aumento no valor da métrica, fazendo a estação procurar e utilizar outro enlace. No entanto a ligação recém selecionada, após um tempo irá tornar-se carregada, fazendo a estação iniciar o mesmo procedimento mais uma vez. Desta forma, o procedimento continua, gerando um efeito *ping-pong* que consiste no procedimento cíclico de mudança entre os enlaces carregados e descarregados.

Observa-se que o valor da métrica ALM é influenciado pelas variações da taxa de transmissão. Isso torna ALM muito propenso a mudanças frequentes, que são a principal razão por trás deste efeito.

### 3.6 Mesh Portal Point (MPP)

Segundo (SOCIETY, 2011), o MP que tem acesso ao Sistema de Distribuição (DS) é chamado de *Mesh Portal Point* (MPP) mostrado na figura 3.5, disponibilizando acesso ao DS para os demais MPs da MBSS. Uma MBSS pode ter dois ou mais MPPs, que oferecem acesso ao DS. O MPP usa o quadro GANN (*Gate Announcement*) ou como alternativa um dos métodos proativos do HWMP (PREQ ativo ou RANN), com o campo *Gate Announcement* igual a 1. Quando o campo *Gate Announcement* estiver habilitado no PREQ ativo ou no RANN, o protocolo GANN não é utilizado.

Um MP descobre a presença de um portal *Mesh* com acesso a rede externa ao receber o elemento GANN. Os MPs propagam este elemento para seus MPs vizinhos de forma a propagar a informação para toda a MBSS.

Note-se que o RANN menciona se a raiz *Mesh* é um portão (*gateway*) que dá acesso a uma rede infraestruturada. Um portão que não é uma estação raiz pode se anunciar para as estações do MBSS, usando o quadro de anúncio de portão (*gateway*) (GANN). Este processo é semelhante ao RANN na sua lógica e comportamento, anunciando o nó portão em vez do nó raiz (HENRY, 2011).

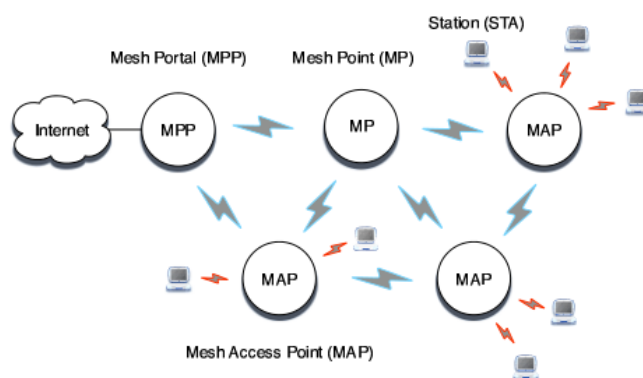


Figura 3.5: Portal Mesh (KNIGHTLY; W., 2008)

### 3.7 Formato dos quadros 802.11s

O suporte a redes *Mesh* estende o formato dos quadros do padrão IEEE 802.11, fazendo o uso de 6 endereços MAC em um mesmo quadro, com o objetivo de permitir o uso de uma rede sem fio de múltiplos saltos, implementada na camada MAC (nível de enlace). Segundo (HENRY, 2011), a fim de ser capaz de mencionar todos os endereços, o quadro *Mesh* contém

6 endereços: até 4 endereços no cabeçalho 802,11 padrão, e 1 ou 2 endereços em um campo específico no *Mesh Header* que será explicado a seguir.

Segundo (ALBUQUERQUE, 2008) os dois primeiros bytes de um quadro 802.11 contêm o chamado *frame control field*, sendo que os dois bits deste campo (o terceiro e o quarto) identificam o tipo de quadro.

00= quadro de gerenciamento	01=quadro de controle
10=quadro de dados	11=reservado

Tabela 3.2: Tipos de quadros

A estrutura dos tipos de quadros(dados, controle e gerência) usados é igual ao padrão IEEE 802.11, pelo fato do 802.11s ser uma extensão do IEEE 802.11. Os quadros IEEE 802.11s de dados e gerência são diferenciados através da mudança no campo *Body* que recebe um campo chamado *Mesh Header*, conforme visto na figura 3.6 o qual permite o uso de até 6 endereços MAC, em conjunto com os subcampos *Type* e *Subtype* do *Frame Control*, utilizados para definir o tipo de quadro. Os quadros de controle não sofreram nenhuma modificação.

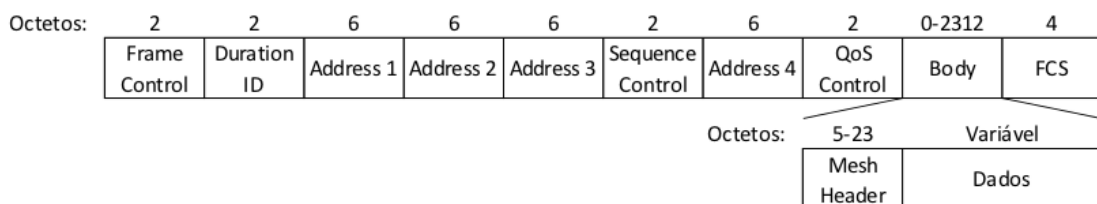


Figura 3.6: Quadro do padrão IEEE 802.11 estendido para o uso de redes *Mesh* (RODRIGUES, 2009)

### 3.7.1 Campo *Mesh Header*

O campo *Mesh Header* mostrado na figura 3.7, pertencente ao campo *Body*, é composto por 4 subcampos, usados nos quadros *Mesh* do tipo dados e gerência.

*Mesh Flags* - é usado para o processamento de controle do *Mesh Header*, possui o campo *Address Extension Mode* com 2 bits, usado para dimensionar o campo *Mesh Address Extension*. Ainda possui um campo com 6 bits reservados.

*Mesh Time to Live* – Campo TTL usado em encaminhamento de múltiplos saltos para limitar o número de saltos máximo.

*Mesh Sequence Number* – Usado para eliminar quadros *broadcast/multicast* duplicadas.

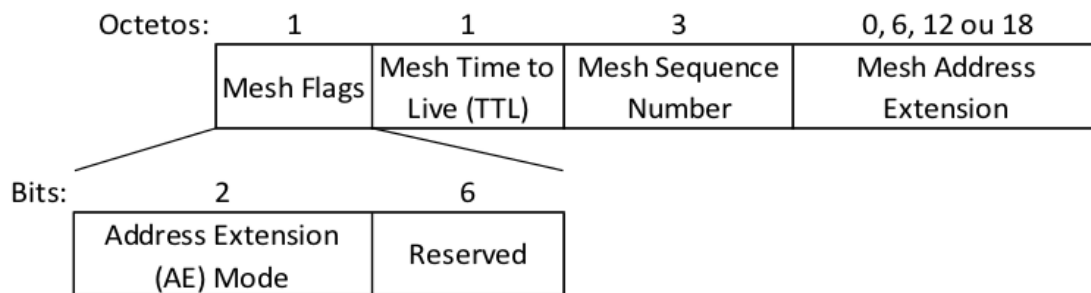


Figura 3.7: Campo *Mesh Header* (RODRIGUES, 2009)

*Mesh Address Extension* – Campo que contém de 1 a 2 endereços MAC, que carrega endereços MAC extras, já que a rede *Mesh* pode precisar de até seis endereços.

Os campos *Mesh TTL* e *Mesh Sequence Number* são usados para prevenir os quadros de looping eterno.

A figura 3.8 mostra o uso dos 6 endereços MAC, na transmissão do STA1 para o STA2, os campos estão preenchidos no momento, onde o pacote está saindo do MP1 para o MP2.

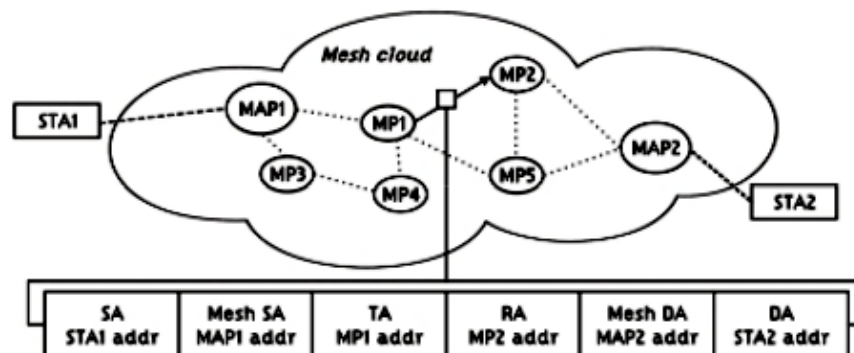


Figura 3.8: Transmissão entre dois STAs (ALBUQUERQUE, 2008)

### 3.8 Projetos: usando as redes *Mesh*

Há vários projetos pilotos de redes *Mesh* ao redor do mundo. Há projetos acadêmicos, como: RoofNet no MIT, VMesh na Grécia, MeshNet na UCSB, CUWin em Urbana, o Microsoft Mesh, entre outros, usando diferentes implementações. No Brasil as redes *Mesh* estão sendo utilizadas como um modo de inclusão digital e acesso a Internet para muitas pessoas. Podemos citar o Programa UCA (Um Computador por pessoa) e o projeto ReMesh.

### 3.8.1 Programa UCA

O programa UCA (Um Computador por aluno) tem como principal objetivo garantir que todas as crianças possuam acesso a um computador, de forma barata em relação aos computadores do mercado.

O Programa UCA, uma iniciativa do Governo Federal do Brasil, estabeleceu durante o ano de 2007 cinco experimentos piloto para implementar a modalidade um computador por aluno. Cada escola foi orientada e trabalhou em colaboração com uma equipe de especialistas: i) a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) na cidade de Piraí coordena o piloto em uma escola com laptops Intel Classmate visto na figura 3.9(b), um para cada aluno da escola; ii) a Secretaria da Educação do Estado de Tocantins na cidade de Palmas apoiou um piloto com laptops Intel Classmate compartilhados por alunos em três turnos; iii) a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na cidade de Porto Alegre, coordenou o piloto na escola com laptops XO visto na figura 3.9(a), um por aluno; iv) a Universidade de São Paulo na cidade de São Paulo, coordenou o piloto em uma escola com laptops XO, sendo cada laptop compartilhado por vários alunos em diferentes turnos e v) Secretária de Educação do Distrito Federal na cidade de Brasília, coordenou o piloto em uma escola com laptops Mobilis (ABREU, 2010).

Após os experimentos e muitas discussões, a vencedora foi a CCE, que aceitou oferecer os laptops a um custo unitário de cerca de 385,00 reais. Para receber os computadores, as escolas devem passar por uma adequação na infra-estrutura e, o mais importante, pela formação dos professores (EDUCACAO, 2010).



(a) Laptop XO



(b) Laptop Intel Classmate

Figura 3.9: Laptops do Projeto UCA

Os *laptops* para o programa UCA foram projetados para uso educacional e para operar

em condições encontradas nos países em desenvolvimento. Assim, a resistência mecânica e o baixo consumo de energia, por exemplo, são diretivas fundamentais no programa UCA (ALBUQUERQUE, 2008).

Segundo, (ALBUQUERQUE, 2008), as escolas colocam servidores, que podem oferecer vários serviços para as estações da rede como, por exemplo, ponto de acesso a Internet, *cache*, biblioteca da escola, hospedagem de sites e plataforma para aplicativos como XMPP.

### 3.8.2 Projeto ReMesh

O projeto ReMesh, implementada pela Universidade Federal Fluminense(UFF) é outro projeto presente no Brasil com a idéia de implementação das redes *Mesh*, utilizando estações posicionadas estrategicamente para prover acesso as demais estações. Porém é utilizado a rede *Ad-Hoc*, com uso múltiplos saltos. Nestas redes, roteadores sem fio são tipicamente instalados no topo de edifícios, conforme visto na figura 3.10 e comunicam-se entre si em modo *Ad-Hoc* através de múltiplos saltos de forma a encaminhar mensagens aos seus destinos (MESH;, 2006). Os usuários interligam seus dispositivos através de conexão sem fio, ao roteador da residência, tornando-se parte da rede *Mesh* sem fio.

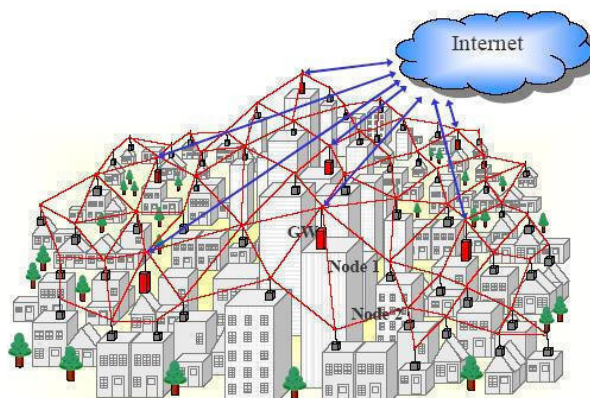


Figura 3.10: Projeto ReMesh (JUN J. E SICHITIU, 2003)

O projeto ReMesh utiliza os roteadores gateways, instalados em um dos prédios da UFF onde há um servidor para realizar o processo de autenticação.

Segundo (ALBUQUERQUE, 2008), como solução de roteamento, o Projeto ReMesh utiliza uma implementação do protocolo pró-ativo OLSR(*Optimized Link State Routing*) estendida com uma métrica que mede a qualidade dos enlaces, chamada ML (*Minimum Loss*). O protocolo OLSR-ML tenta encontrar caminhos de menor perda para entregar um pacote ao seu destino final.

O projeto ReMesh tem como objetivo principal demonstrar na forma de prova de conceito a viabilidade de uma rede de acesso universitária faixa larga sem fio (MESH;, 2006).

### 3.9 Suporte a Rede *Mesh* no Linux

O suporte a redes *Mesh* IEEE 802.11 em sua versão preliminar (i.e. seguindo o rascunho do padrão) foi adicionado a alguns sistemas operacionais. No Linux, o suporte a redes *Mesh* surgiu na versão 2.6.26 do *kernel*, elaborado pelo projeto open 80211s, tendo sido incorporado ao módulo *mac80211*. Esse módulo define um *framework* usado por desenvolvedores para escrever *device drivers* para interfaces de rede sem-fio do tipo SoftMAC (i.e. interfaces em que as funções de gerenciamento do MAC são realizadas por software) (WIRELESS, 2010). Além do Linux, o sistema operacional FreeBSD, a partir da versão 8.0, também possui uma implementação para o IEEE 802.11s.

Uma solução para a implementação das redes *Mesh* para Linux está disponível pelo Open 802.11s , onde se explica como configurar uma rede *Mesh*. Esse projeto disponibiliza alguns *softwares* necessários para a construção da rede *Mesh*, tais como todos *drivers* necessários, para isto possui um *kernel*.

Outra solução é a CedtMesh, que se trata de uma implementação da rede *Mesh* sem fio, com base no projeto do IEEE 802.11s, o qual também disponibiliza pacotes necessários para implementação da sua solução do 802.11s no Linux.



## 4 *Implantação de uma rede local sem-fios Mesh*

Este trabalho investigou a implantação de uma rede local sem-fio *mesh* no campus São José do IF-SC. Foi usada a tecnologia da rede *Mesh* segundo a versão preliminar do padrão IEEE 802.11s publicada em 2011. Além de possibilitar a comunicação entre as estações, foi disponibilizado acesso à rede cabeada da instituição. Usando essa rede, realizaram-se experimentos para observar a auto-organização das estações, a vazão e os atrasos na entrega de quadros, e perdas de quadros. Os resultados obtidos possibilitaram uma comparação com uma rede local sem-fio IEEE 802.11 infraestruturada.

Na implantação da rede *Mesh* utilizaram-se computadores com sistema operacional Linux. Foram implementados os diferentes modos de operação que uma estação *Mesh* pode assumir (MP, MPA e MPP, como apresentados na seção 3.1). Assim, puderam-se criar cenários compostos tanto por dispositivos que suportam redes *Mesh*, quanto estações sem fio que se comunicam somente em modo infraestruturado.

Para a análise do desempenho da rede *Mesh* como uma típica rede sem fio local, realizaram-se as seguintes medições:

- **Taxa de vazão:** foi medida a taxa de transferência de um fluxo de quadros pela rede, para estimar sua capacidade de comunicação, sem nenhuma transmissão em segundo plano;
- **Taxa de quadros perdidos:** foram contabilizadas as perdas de quadros ocorridas em fluxos compostos por transmissões periódicas, para quantificar erros de comunicação nestas redes;
- **Variação de atraso de quadros recebidos:** foram medidas as variações de intervalos de tempo entre quadros recebidos, as quais são importantes no caso de comunicações com requisitos de tempo real;
- **Estabilidade dos caminhos:** foi medida a longevidade de caminhos na rede, e a frequência

com que eles se alteram em face de variações nas qualidades dos enlaces sem-fio, para avaliar a estabilidade da auto-organização na rede em *Mesh*;

- **Variação da métrica de qualidade do enlace:** foi investigada a estabilidade da métrica de qualidade de enlace na rede *Mesh*, a qual possui papel fundamental na auto-organização da rede.

Por fim, os resultados de vazão e taxa de quadros perdidos obtidos na rede *Mesh* foram comparados com o cenário em que os dispositivos de usuários se comunicam por uma rede infraestruturada.

## 4.1 Experimentos e Resultados

Os experimentos com a rede implantada exploraram também a quantidade de saltos entre as estações. Assim, pôde-se relacionar a vazão, os atrasos de entrega de quadros, e as perdas de quadros, com o número de saltos atravessados pelos quadros transmitidos (i.e. retransmissões por estações intermediárias). Os resultados obtidos dessa análise possibilitaram avaliar a escalabilidade de uma rede sem-fio *Mesh*, no que diz respeito às distâncias entre as estações que se comunicam.

Os experimentos foram divididos em 3 etapas. Na primeira etapa foram analisadas a taxa de vazão e a taxa de quadros perdidos entre as estações, para diferentes quantidades de saltos entre origem e destino. Na segunda etapa foi analisada a auto-organização da rede, de forma a verificar a estabilidade dos caminhos. Na terceira etapa implantou-se um MPP, para que da rede *Mesh* se pudesse acessar a rede cabeada do IFSC, e avaliou-se a vazão que as estações puderam obter com fluxos através desse MPP. Essas três etapas estão descritas abaixo com maiores detalhes.

### 4.1.1 Primeira Etapa

Criaram-se diferentes cenários, em que se variou a quantidade de saltos e a distância entre as estações. Cada cenário foi utilizado para analisar a taxa de vazão e taxa de perda de quadros. Para esta análise, utilizou-se o envio de quadros UDP, sendo uma estação o servidor e outra o cliente, que eram respectivamente as estações de cada extremidade nos cenários. Alguns dos cenários fizeram usos de APs e estações clientes, funcionando no modo de operação infraestruturado e outros cenários fizeram uso apenas de MPs, funcionando como redes *Mesh* puras. Com isto puderam-se comparar os modos de operação.

A figura 4.1 mostra um cenário com estações *Mesh* se comunicando de forma direta e outro cenário com duas estações se comunicando a partir de um ponto de acesso, a uma distância entre 2 e 3 metros entre cada estação. Como no caso das estações *Mesh* a comunicação ocorre sem transmissões intermediárias, espera-se que possa ser obtida uma maior vazão se comparada com o cenário infraestruturado. Assim, nesses cenários foram medidas a taxa de vazão e a taxa de perda quadros.

Nos cenários a seguir aumentou-se o número de saltos necessários para comunicação entre as estações, para investigar sua relação com a qualidade da comunicação na rede *Mesh*. A qualidade de comunicação foi definida pela vazão e taxa de perda de quadros. Os resultados da rede *Mesh* foram comparados com os obtidos em cenários de rede infraestruturada, apresentados na figura 4.1(b) e figura 4.2(a). Nesses cenários, as estações estiveram associadas a apenas um AP para poderem se comunicar ou estiveram associadas a diferentes APs.

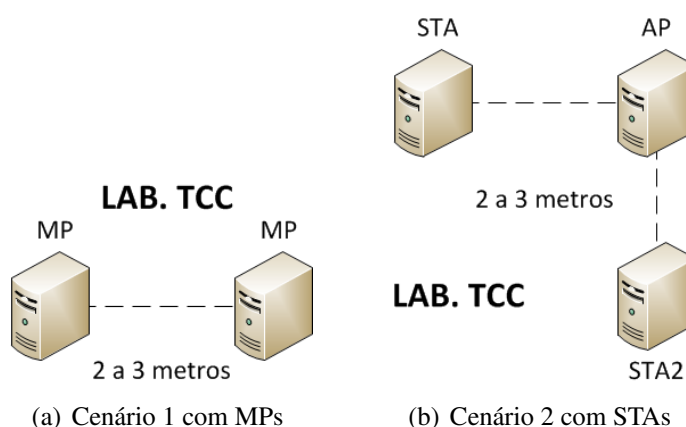


Figura 4.1: Cenários da primeira etapa

Nos cenários da figura 4.2, aumentou-se novamente o número de saltos necessário para a comunicação entre duas estações. O primeiro cenário faz uso de duas estações, onde cada uma está associada a um ponto de acesso diferente. No segundo cenário foi formada uma rede *Mesh* em que as estações que se comunicam através de dois saltos.

A figura 4.3 mostra no primeiro cenário uma rede *Mesh* com a comunicação realizada com três saltos entre estações. O segundo cenário mostra uma rede *Mesh* com comunicação direta, igual a rede do cenário 4.1(a) porém neste caso a distância entre as estações é de 15 à 20 metros.

Os resultados obtidos na primeira etapa estão apresentados nos gráficos da figura 4.4. No cenário 1, composto por estações *Mesh*, conseguiu-se uma vazão superior comparada ao cenário 2, composto por estações em rede infraestruturada. A diferença entre as vazões foi de quase 4 Mbps, ou cerca de 40 % maior no caso do cenário 1. Pode-se observar também que os quadros perdidos no cenário 2 com STAs foi significativamente superior ao cenário 1.

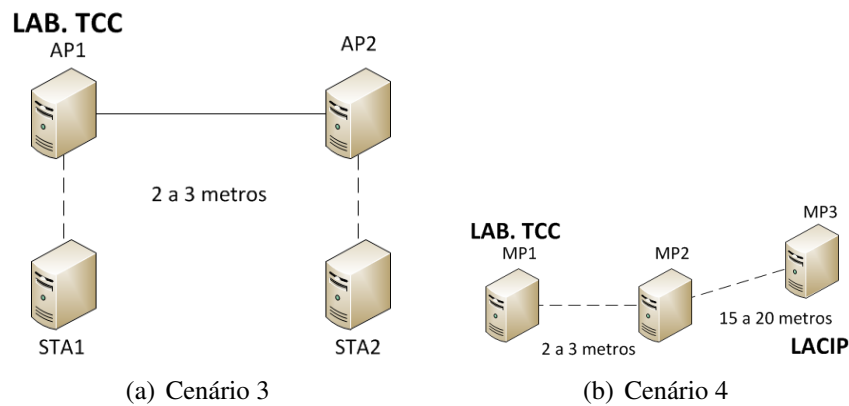


Figura 4.2: Cenários da primeira etapa

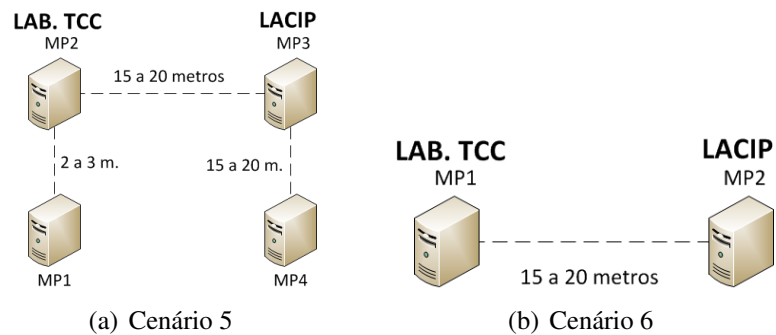


Figura 4.3: Cenários da primeira etapa

No cenário 3 se comparado ao cenário 4 conseguiu-se uma melhor vazão e menor perda de quadros. O cenário 4 com apenas um MP intermediário, já apresentou uma grande queda na vazão e o número de quadros perdidos aumentou. O cenário 5 com dois intermediários, apresentou a vazão menor ainda e um grande número de quadros perdidos significativamente, tendo aproximadamente 80 % dos seus quadros perdidos.

O cenário 6 com as estações *Mesh* se comunicando diretamente, houve uma queda na vazão e um pequeno número de quadros perdidos, se comparado ao cenário 1 com os MPs. Pode-se considerar que, neste caso, isso se deu devido ao aumento da distância entre as estações *Mesh* e os obstáculos no caminho.

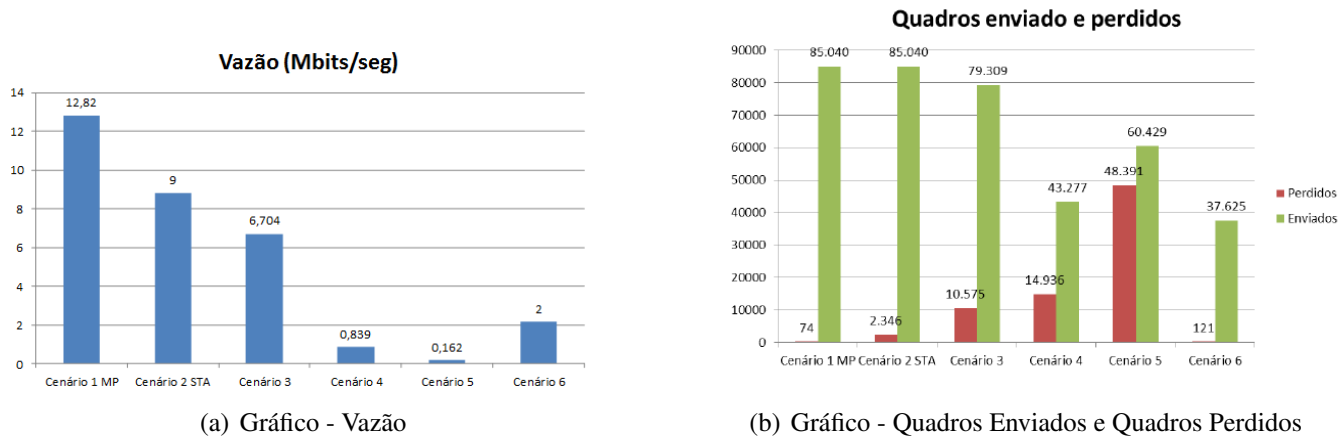


Figura 4.4: Gráfico com os resultados dos diferentes cenários da primeira etapa

### 4.1.2 Segunda Etapa

A segunda parte dos experimentos consistiu em analisar a estrutura da rede *Mesh* e a estabilidade de sua topologia. Desta forma, monitoraram-se os caminhos estabelecidos dentro da rede (*Mesh*) e a estabilidade desses caminhos entre as estações. Para isso, em cada estação duas informações foram investigadas:

- a mudança de caminho para um destino;
- o valor da métrica até um destino;

Para verificação destas informações na rede *Mesh*, foram enviadas sequências de datagramas UDP periódicos que possuem um tamanho entre 63 e 66 bytes de uma estação para outra. Cada datagrama enviado conteve um número de sequência, para possibilitar identificar perdas de datagramas. Com isso, a cada experimento a estação receptora realizou a medição dos intervalos entre os datagramas recebidos, e identificou os datagramas perdidos. Com esse fluxo regular de datagramas na rede sem-fio, pôde-se medir interrupções de comunicação devido a perdas de qualidade de enlaces sem-fio ou mudanças de caminhos na rede.

As mudanças de caminhos na rede foram monitoradas por meio de verificações periódicas das tabelas de caminhos. A cada 50 ms, cada MP verificou sua tabela de caminhos, registrando modificações detectadas. No caso de haver alteração de caminho, foi gravado o instante em que ocorreu, a estação destino, estação intermediária, valor da métrica anterior, nova estação intermediária e novo valor da métrica. Esses resultados foram usados para avaliar a continuidade das comunicações na rede quando uma estação se movimentava, assim como a demora para a descoberta de novos caminhos dentro da rede devido a mudanças de topologia.

Na segunda etapa foram feitos três cenários, conforme a figura 4.5, de forma analisar a auto organização da rede *Mesh*.

O primeiro cenário a estação MP1, localizada no Laboratório do TCC, foi o servidor e a estação cliente foi a MP3, que trata-se de um notebook. Analisou-se a organização da rede e a estabilidade dos caminhos enquanto o notebook era deslocado, para forçar a mudança na qualidade do enlace. Neste caso de mobilidade, a medida que erros de comunicação ocorrem, a interface de rede sem-fio seleciona um modo de modulação mais robusto porém com menor taxa de bits. A diminuição da taxa de bits provoca um aumento significativo no valor da métrica ALM (ver equação 3.1), o que significa um enlace de menor qualidade. Assim, a estação cliente pode procurar outro enlace para comunicação até o servidor, e essa busca e mudança de enlace pode ser repetir muitas vezes até se conseguir estabilidade, como demonstrado em (ABID, 2010). Como se pode observar, esse efeito *ping-pong* foi verificado nos experimentos nesse primeiro cenário.

O caminho percorrido iniciou no Laboratório de TCC e seguiu até o Laboratório dos alunos. Durante a mobilidade a troca de enlaces foi constante, mesmo no momento qual a estação ficou estática, no corredor entre os Laboratórios de Tcc e dos alunos, o efeito *ping-pong* ocorreu. Em seguida, prosseguiu até a frente do Laboratório de Desenvolvimento, passando pelo grande corredor que possui as escadas na lateral, onde estabilizou os enlaces, se comunicando com MP1 por múltiplos saltos.

No segundo e terceiro cenário, a estação MP1 assumiu o papel do servidor e a estação MP3 o papel do cliente. Nos dois cenários, as estações ficaram estáticas, sem forçar a mudança na qualidade do enlace, de forma a verificar a estabilidade dos enlaces, sendo direta a comunicação no segundo cenário por apenas um salto, e no terceiro cenário com dois saltos.

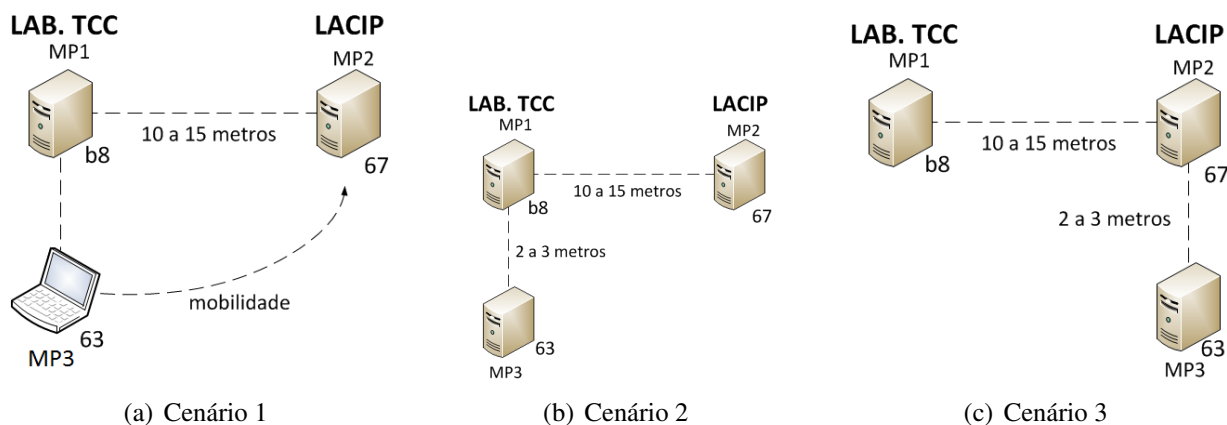


Figura 4.5: Cenários da segunda etapa

Os resultados obtidos na segunda etapa, no cenário com mobilidade de uma estação da rede *Mesh*, estão mostrados na figura 4.5(a). Observou-se que a alteração do caminho ocorre quando há um aumento da métrica de qualidade de enlace. Conforme descrito por (ABID, 2010), na ocorrência de perdas de quadros, a interface 802.11 oscila a taxa de transmissão, oscilando assim também o valor da métrica no enlace. Com o aumento da métrica a estação procura um caminho com uma menor métrica, fazendo em alguns casos como foi visto, que a estação procure uma estação vizinha que possa transmitir através de múltiplos saltos até o destino.

Devido a mobilidade, em alguns momentos o enlace usado por uma estação passa a sofrer perda de quadros, levando a interface 802.11 a diminuir a taxa de transmissão e aumentando o valor da métrica, assim a estação seleciona um caminho com melhor métrica. No novo enlace, na perda de quadros diminui a taxa de transmissão e a métrica aumenta, retornando ao caminho anterior. Conforme visto na tabela 4.1, isto ocasionou em um efeito que é chamado de *ping-pong*, que consiste no procedimento cíclico de mudança entre os enlaces até o destino conforme visto por (ABID, 2010).

Tempo (s)	MP Destino	MP intermediário	Métrica	Novo MP intermediário	Nova métrica
0.000001	00:18:e7:28:46:67	00:18:e7:28:46:67	683		
0.000001	00:1f:1f:12:0e:b8	00:1f:1f:12:0e:b8	152		
282.302038	00:1f:1f:12:0e:b8	00:1f:1f:12:0e:b8	213	00:18:e7:28:46:67	4780
286.808482	00:1f:1f:12:0e:b8	00:18:e7:28:46:67	4780	00:1f:1f:12:0e:b8	873
304.234366	00:1f:1f:12:0e:b8	00:1f:1f:12:0e:b8	873	00:18:e7:28:46:67	4780
305.436134	00:1f:1f:12:0e:b8	00:18:e7:28:46:67	4780	00:1f:1f:12:0e:b8	873
307.138626	00:1f:1f:12:0e:b8	00:1f:1f:12:0e:b8	873	00:18:e7:28:46:67	1025
307.338891	00:1f:1f:12:0e:b8	00:18:e7:28:46:67	1025	00:1f:1f:12:0e:b8	873
311.645072	00:1f:1f:12:0e:b8	00:1f:1f:12:0e:b8	873	00:18:e7:28:46:67	1025
313.948433	00:1f:1f:12:0e:b8	00:18:e7:28:46:67	1025	00:1f:1f:12:0e:b8	1176

Tabela 4.1: Tabela de caminhos da estação em movimento

Conforme mostrado nos gráficos da figura 4.6, pode-se observar que em alguns momentos do experimento, como no intervalo entre 300 e 400 segundos, houve uma interrupção de comunicação. A perda de quadros ficou entre valores abaixo de 20 quadros, mas houve alguns momentos com valores superiores a isto. O atraso obteve pequenos momentos com valores maiores que 100 ms.

Esta interrupção é devido ao efeito *ping-pong*, onde a tabela de caminhos na rede *Mesh* gerada pela estação sofreu seguidas alterações, no que diz respeito à comunicação até o destino. Enquanto se movimenta, a estação cliente não aguarda um período de tempo para o novo enlace estabilizar, estando sujeita a novos incrementos no valor da métrica de qualidade de enlace se ocorrerem perdas de quadros e consequentes diminuições da taxa de bits. A qualidade na comunicação do cliente e servidor, neste caso perdeu qualidade, devido a estas interrupções

geradas pelo efeito *ping-pong*.

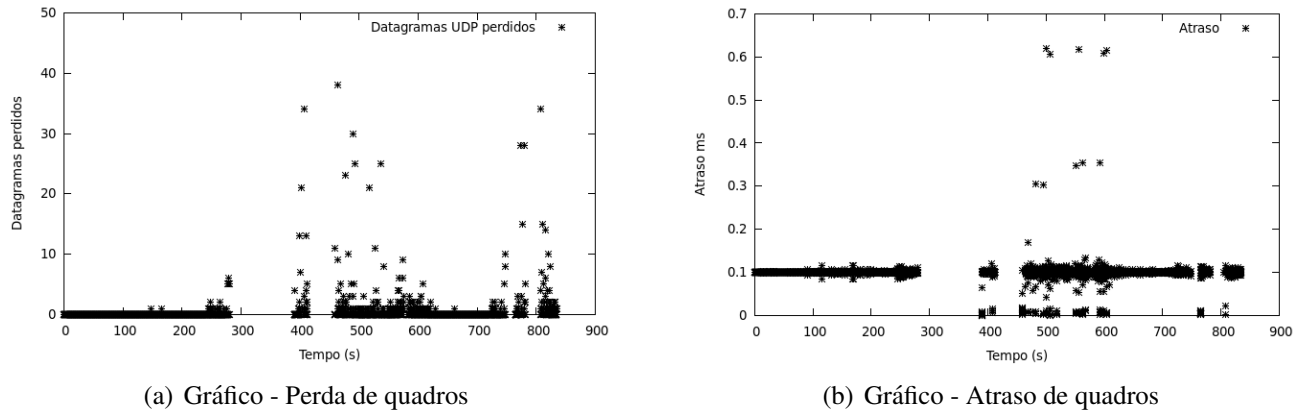


Figura 4.6: Gráfico com a perda de pacotes e atraso dos quadros - Cenário da figura4.5(a)

Nos cenários, onde as estações eram estáticas, as perdas de quadros foram baixas, assim a taxa de vazão foi melhor que o caso anterior, e o valor da métrica se manteve estável, sem a ocorrência de trocas de enlaces. Sem o efeito *ping-pong*, não houve interrupções na comunicação obtendo grande melhora na comunicação entre cliente e servidor.

No cenário da figura 4.5(b), com estações *Mesh* estáticas, conforme os gráficos da figura 4.7 não houve perdas de quadros significativas e a variação do atraso se manteve próximo aos 100 ms. Não houve alteração de caminhos, resultando em uma comunicação estável, devendo levar em consideração que as estações que se comunicavam estavam próximas, conseguindo aproximadamente uma vazão de 13,57 Mbtis/seg.

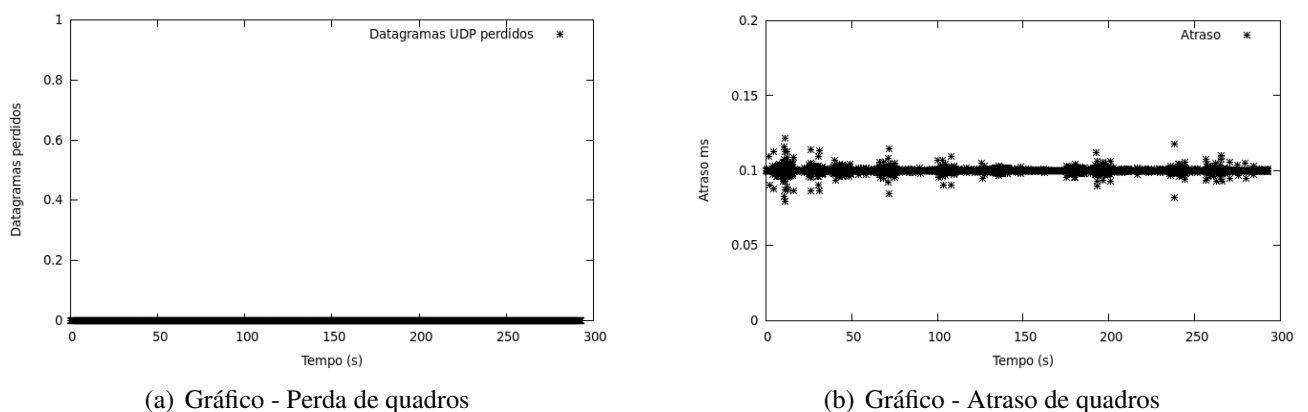


Figura 4.7: Gráfico com a perda de pacotes e atraso dos quadros - Cenário da figura4.5(b)

No cenário da figura 4.5(c), com as estações estáticas e a comunicação até o destino ocorrendo por múltiplos saltos, como pode ser visto no gráfico 4.8(a) durante grande parte do experimento a perda de quadros os valores ficaram entre 1 e 5 e em alguns momentos obteve valores superiores a estes.



No gráfico 4.8(b) durante grande parte do experimento houve oscilação no valor de atraso, com grande parte dos valores superiores a 100 ms à 300 ms, com pequenos picos superiores a estes valores. Com estações estáticas, com a comunicação por múltiplos saltos, não houve alteração dos caminhos e a perda de quadros já obteve um aumento e a vazão aproximada neste caso, foi de 9.68 Mbits/seg.

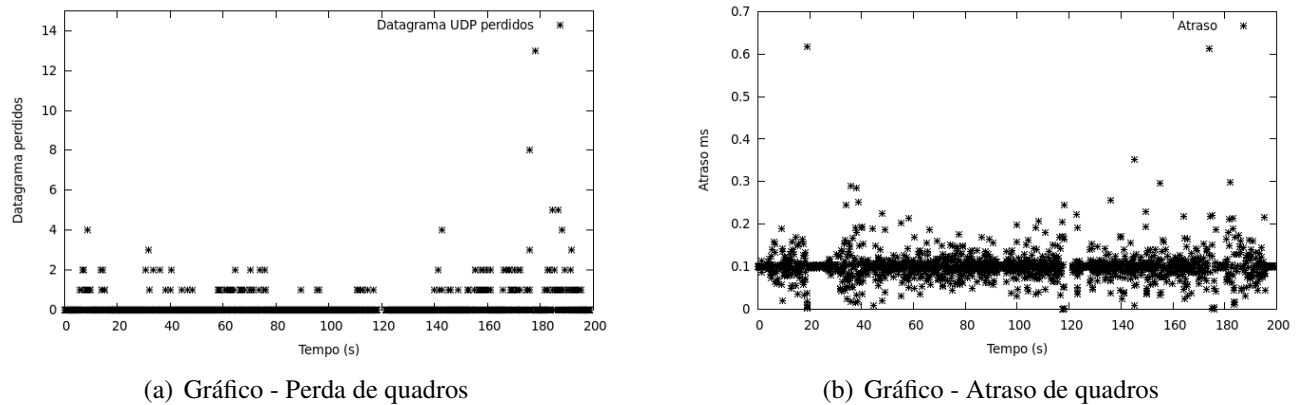


Figura 4.8: Gráfico com a perda de pacotes e atraso dos quadros - Cenário da figura4.5(c)

Comparando os gráficos 4.5(b) e 4.5(c), a comunicação direta com apenas um salto apresentou maior estabilidade, com mínimas perdas de quadros ou grande atrasos. Já com o uso de múltiplos saltos, a perda de quadros e a oscilação do atraso aumentaram, mesmo sem haver mudança de caminhos entre estações na rede.

### 4.1.3 Terceira Etapa

A terceira parte dos experimentos consistiu na ativação de uma estação como portal (MPP), possibilitando as estações *Mesh* a terem acesso a rede cabeada do IFSC, além da verificação na estabilidade dos enlaces entre as estações. O MPP que foi ativado pode ser visto como um *gargalo* da rede, pois por ele passou todo tráfego entre a rede *Mesh* e a rede cabeada. Para realizar o experimento foi disponibilizado em um servidor na rede cabeada um arquivo para *download*, que foi transferido pelas estações na rede *Mesh*. Isso possibilitou analisar a estabilidade dos caminhos e a vazão pela rede.

No cenário da terceira etapa, mostrado na figura 4.9(a), foi ativada uma estação como MPP e realizou-se a transferência de um arquivo armazenado em um servidor na rede cabeada. Nesse cenário, ocorreram frequentes mudanças de caminho entre MPP e as estações na rede *Mesh*. Apenas a estação com endereço MAC final *4e* conseguiu completar a transferência do arquivo, sendo que as demais estações sofreram interrupção durante a transferência.

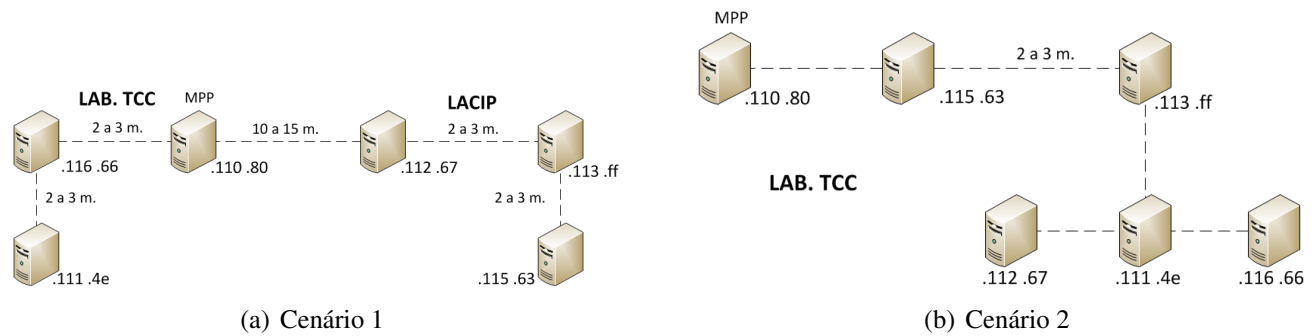


Figura 4.9: Cenários da terceira etapa

Já no cenário da figura 4.9(b), com o MPP e as estações próximas (em uma mesma sala), percebeu-se uma melhora significativa, porém persistiram as mudanças de caminhos. Nesse cenário, todas as estações completaram a transferência, obtendo uma taxa em média de 400 Kb/seg.

Relacionando os resultados, observa-se que a comunicação entre estações *Mesh* de forma direta apresentou um melhor aproveitamento na comunicação, uma maior taxa de vazão e taxa de quadros enviados e perdidos, se comparado com a rede infraestruturada, onde duas estações precisam estar associadas a um AP para se comunicarem.

As redes *Mesh*, quando ocorre aumento no número de saltos, apresenta perda de rendimento de comunicação de acordo com o número de saltos necessários até o destino, ou seja, quanto mais saltos, menor a qualidade na comunicação (taxa de vazão e taxa de quadros enviados e perdidos). Conforme verificado nos experimentos, a comunicação a partir de múltiplos saltos, mostrou menor qualidade se comparado a rede infraestruturada, usando apenas um AP com as estações associadas ao mesmo, ou usando duas estações associadas a diferentes APs. O aumento de saltos para comunicação das estações *Mesh* foi possível até dois saltos, passando disto a comunicação se tornou inviável, mas a perda no rendimento é significativo, conforme mostra os gráficos 4.4(a) e 4.4(b).

Outro elemento verificado é a métrica ALM, utilizada pela rede *Mesh*, que apresentou o efeito *ping-pong*, relacionado ao valor da métrica. Quando ocorreram perdas de quadros, a interface 802.11 diminuiu a taxa de vazão, o que causou o aumento do valor da métrica. Isso teve como consequência fazer com que a estação selecione um outro enlace com melhor qualidade aparente. Sendo assim quanto menor a taxa de vazão, maior o valor da métrica. Na segunda etapa dos experimentos, foi verificado que no cenário com mobilidade sofreu interrupções na comunicação. Nesses casos, a estação cliente ficou modificando seu caminho até o servidor, até conseguir estabilizar em um enlace até o destino. Porém até conseguir estabilizar houve interrupções na comunicação causadas pelo efeito *ping-pong*. Nos cenários com estações

---

estáticas e sem mudanças nos enlaces de comunicação, o rendimento na comunicação foi superior ao cenário de mobilidade.

O uso do MPP para comunicação com a rede cabeada apresentou um desempenho aceitável em um cenário onde as estações estão próximas (em uma mesma sala). No caso de essas estações estarem um pouco mais distantes, a perda de comunicação se tornou frequente. Nesses cenários, a troca de enlaces entre as estações ocorreu repetidamente, tendo sido causadas pelo efeito *ping-pong* descrito anteriormente.

## 5 *Conclusões*

Neste trabalho de conclusão de curso realizou-se um estudo sobre o desempenho de uma rede local sem-fio *Mesh*, a qual segue o rascunho do padrão IEEE 802.11s publicado em 2008. O estudo teve como finalidade demonstrar o funcionamento e analisar o desempenho da rede sem-fio *Mesh* em comparação com rede sem-fio infraestruturada, com respeito à vazão, taxa de quadros perdidos e atraso fim-a-fim. Especificamente sobre a rede *Mesh*, foram investigadas também a estabilidade dos caminhos e a variação da métrica de qualidade dos enlaces. Os resultados obtidos possibilitaram estimar as vantagens e limitações da rede sem-fio *Mesh*, comparada à rede sem-fio infraestruturada.

Os experimentos e resultados descritos no capítulo 4 demonstraram que as comunicações dentro de um conjunto de estações que estão em alcance mútuo (i.e., ao alcance de um salto) apresentaram uma melhor vazão se comparado com um rede infraestruturada. Porém nos casos em que houve necessidade de encaminhamento por estações intermediárias, houve uma diminuição na vazão e o aumento na perda de quadros transmitidos.

Observou-se que a métrica *Airtime Link Metric* (ALM) possui limitações, pois apresentou um efeito chamado “*ping pong*”. Esse problema, já descrito em (ABID, 2010), se manifesta pela oscilação no valor da métrica com consequente alteração frequente de caminhos. Isso causa interrupções nas comunicações que dependem dos caminhos afetados. Isso se deve à dependência da métrica em relação à taxa de bits, pois adaptações nessa taxa feitas pela interface de rede afetam sensivelmente o valor da métrica. Taxas de bit maiores reduzem o valor da métrica, indicando um enlace de melhor qualidade, e taxas menores aumentam o valor da métrica, indicando assim o contrário. Ainda não existe uma proposta no padrão IEEE 8022.11 para tratar esse efeito.

O padrão ainda é imaturo em outros pontos, e precisa de melhorias. O uso de múltiplos saltos na rede *Mesh* apresentou uma queda no rendimento da rede. Verificou-se que a comunicação com até dois nós intermediários é possível, mas a redução na vazão obtida e o aumento das perdas de quadros e de atrasos fim-a-fim foram significativos. Outro ponto a ser verificado é o uso de

MPP, para comunicação com a rede cabeada e funcionando como gargalo da rede, o qual teve um melhor aproveitamento, quando as estações estavam próximas em uma mesma sala. Quando as estações estão distantes ocorre perda na comunicação e ambos cenários possuem mudança nos enlaces de comunicação constante. Estas mudanças de enlace, é devido a diminuição da taxa de bits da estação, fazendo o valor da métrica aumentar, e a estação assim procurar um novo enlace. Esses efeitos sugerem que a implantação de uma rede *Mesh* depende de cuidadosa disposição dos dispositivos, para que os enlaces possuam qualidade aceitável.

Por fim, vislumbra-se que uma rede *Mesh* como a investigada poderia atender aplicações com dispositivos que geram pouca ou média carga de tráfego, tais como automação residencial ou redes de sensores. Outro possível uso seria interligar pontos de acesso via canais sem-fio.

## 5.1 **Desenvolvimentos Futuros**

- Incluir na implementação da rede *Mesh*, o uso de múltiplos canais, de forma analisar a ocorrência de mudanças nos resultados. Colocando duas interfaces em um mesmo PC, com cada interface operando em diferentes canais. No uso de apenas uma interface com a rede *Mesh* operando em um único canal, é necessário que a estação bloqueie o recebimento de quadros dos vizinhos, para que possa transmitir para a estação destino, ocorrendo um atraso na comunicação, com o uso de duas interfaces em diferentes canais, pode ocorrer uma melhora nesta situação;
- Estudo para a melhoria do tratamento da métrica, conforme comentado não houve uma proposta do padrão IEEE 802.11, para resolução deste problema, este efeito causa interrupções na comunicação, diminuindo a qualidade do enlace da rede;
- Implementação e comparação da rede *Mesh* com uma rede infraestruturada que utiliza o Sistema de Distribuição sem Fio (WDS), neste trabalho comparou-se com a rede infraestruturada onde os APs encontram-se no DS, pela rede cabeada, esta rede também poderia ser comparada com rede sem-fio *Mesh*, pois neste caso, ambas utilizam o meio sem fio;
- Implementação do padrão 802.11s em um roteador, utilizando o OpenWRT, a configuração dos MPs neste trabalho foram realizadas em computadores, este padrão pode ser implementado em um roteador, como as soluções de grandes empresas já existentes, de forma a disponibilizar um equipamento de menor porte, com o novo padrão.

## ***ANEXO A – Implementação da Rede Mesh***

Demonstrando a formação do *Mesh Point* (MP), *Mesh Access Point* (MAP) e do *Mesh Point Portal* (MPP).

### **A.1 Plataforma**

Para a implementação da rede *Mesh*, foi utilizada a seguinte plataforma.

- Computadores com a distribuição Linux Ubuntu 10.04 LTS, kernel compilado para 3.3.0-wl, disponível pelo open80211s, no pacote com nome wireless-testing.
- Adaptador sem fio PCI Atheros, *driver* ath5k
- Adaptador sem fio USB Realtek, *driver* r2xx00.

Com a plataforma pronta foi necessário a instalação dos seguintes *softwares*:

- iw - Utilitário para configuração dos dispositivos sem fio.
- hostapd - Utilizado para formação de um *Access Point*, no caso usado para o MAP.
- bridge-utils - Utilizado para criação da bridge entre as diferentes interfaces, utilizado no caso dos MPP e MAP.

Após a instalação destes pacotes e compilação do *kernel*, desativar o gerenciador de rede sem fio conforme abaixo, assim pode-se iniciar a formação do MP, MAP e MPP.

```
/etc/init.d/network-manager stop
```

Figura A.1: Parando o Gerenciador

Na formação dos elementos *Mesh* o nome da interface *Mesh* será em mesh, e o *Mesh ID* será TESTE.

## A.2 Formação do Mesh Point (MP)

Para a configuração dos MPs, basicamente é necessário que estejam com o mesmo *Mesh ID*, e operando no mesmo canal.

```
iw dev wlan0 interface add mesh0 type mp mesh_id TESTE
iw dev mesh0 set channel 11
ifconfig mesh0 up
iwconfig mesh0 channel 11
ifconfig mesh0 172.18.25.110
```

Figura A.2: Comando MP

Após isto, deve-se conseguir realizar o ping entre os MPs.

Outros comandos úteis são:

```
iw dev mesh0 station dump
iw dev mesh0 mpath dump
```

Figura A.3: iw mpath e station

O station dump demonstra os enlaces criados entre os MPs. O endereço MAC identifica a estação que possui enlace ativo.

```
root@murilo-desktop:~# iw dev mesh0 station dump
Station 00:1f:1f:12:0e:b8 (on mesh0)
  inactive time: 256 ms
  rx bytes: 6392
  rx packets: 93
  tx bytes: 1932
  tx packets: 23
  tx retries: 6
  tx failed: 1
  signal: -35 dBm
  signal avg: -29 dBm
  tx bitrate: 1.0 MBit/s
  mesh llid: 49606
  mesh plid: 29524
  mesh plink: ESTAB
  authorized: yes
  authenticated: yes
  preamble: long
  WMM/WME: yes
  MFP: no
  TDLS peer: no
```

Figura A.4: Comando station dump

Enquanto o mpath dump mostra a tabela de roteamento usado na rede Mesh, o valor da métrica da ligação entre os MPs, além de informa o endereço MAC destino e o endereço MAC, do próximo salto.

```
root@murilo-desktop:~# iw dev mesh0 mpath dump
DEST ADDR      NEXT HOP      IFACE      SN      METRIC  QLEN      EXPTIME      DTIM      DRET      FLAGS
00:1f:1f:12:0e:b8 00:1f:1f:12:0e:b8 mesh0      2      8193    0      3226590772   100      0      0x4
```

Figura A.5: Comando mpath dump

## A.3 Formação do Mesh Access Point (MAP)

Para a formação do MAP é necessário, que os pacotes *bridge-utils* e *hostpad* estejam instalados. Utilizado duas interfaces sem fio, uma utilizada para operar como AP usando o *hostapd*, e outra operando como MP, sendo interligadas com uma *bridge*.

### A.3.1 Bridge

Inicialmente é realizado a formação do MP e criado uma *bridge* chamada *br0*, onde a interface virtual em *mesh0* está contida.

```
brctl addbr br0
brctl addif br0 mesh0
ifconfig mesh0 0.0.0.0
ifconfig br0 172.18.25.110/16 up
```

Figura A.6: Criação de *bridge*

### A.3.2 Hostapd

Após a criação do MP sendo colocada na *bridge*, realizar o *download* do *hostapd*, entrar em seu diretório e copiar a configuração padrão para um arquivo chamado *.config*

```
cp defconfig .config
```

Figura A.7: Configuração padrão para *.config*

No arquivo de configuração do *hostapd*, deve-se configurar a interface que funcionará como Access Point, o SSID da rede, o canal que irá trabalhar e o campo de driver deve ser usado o *nl80211*. Neste caso, no arquivo *hostpado.conf*, foram alteradas as seguintes linhas:

O arquivo *.config*, foi habilitado o uso do driver *NL80211*

Após estes parâmetros configurados, executar o comando *make*, para a instalação.

Para executar o *hostapd*, verificando a troca de mensagens:



```
interface=wlan0
bridge=br0
driver=nl80211
ssid=rede1
channel=11
```

Figura A.8: hostpad.conf

```
CONFIG_DRIVER_NL80211=y
```

Figura A.9: .config

```
./hostapd -d hostapd.conf
```

Figura A.10: Execução do hostpad

Na STA o IP, Máscara e Gateway foi configurado manualmente, após a autenticação a STA se comunicará com os MPs da Rede Mesh.

## A.4 Formação do *Mesh Point Portal* (MPP)

Inicialmente é realizado a formação de um MP. Após isto, é realizado uma bridge, entre a interface em mesh0 e a interface cabeada, que no caso é a eth0.

```
brctl addbr br0
brctl addif br0 eth0
brctl addif br0 mesh0
ifconfig mesh0 down
ifconfig eth0 down
ifconfig mesh0 0.0.0.0 up
ifconfig eth0 0.0.0.0 up
ifconfig br0 172.18.25.110/16 up
```

Figura A.11: Comando MPP

Para configurar o MP como portal permitindo o anúncio da sua presença na rede *Mesh*. Neste caso, todos os nós da *Mesh* de forma proativa criaram caminhos para o portal. Os nós da rede *Mesh* enviaram para a portal todo o tráfego, no caso do destino não poder ser resolvido na rede *Mesh*.

```
iw mesh set mesh_param mesh_gate_announcements 1  
iw mesh0 set mesh_param mesh_hwmp_rootmode 1
```

Figura A.12: Comando MPP - Portal

## ANEXO B – Formato dos quadros 802.11

Segundo a descrição de (RODRIGUES, 2009), o formato do quadro padrão 802.11, possui a presença de endereços MAC, no qual são usados, quatro endereços (ADDR1-4). Enquanto na rede cabeada, são necessários apenas dois endereços de 48 bits, para o envio de um pacote da origem até o destino. Nas redes sem fio, para o envio de um pacote até o destino final, poderá ser necessário que passe por intermediários, no qual são apenas o destino imediato, como AP's, se tornando necessário identificar o destino final e estes intermediários.

A figura B.1, apresenta a estrutura do quadro 802.11, no qual possui cabeçalho (*header*) MAC, o conteúdo (*Frame Body*) e FCS para verificação de redundância cíclica, utilizado pela estação receptora verificar a integridade da transmissão.

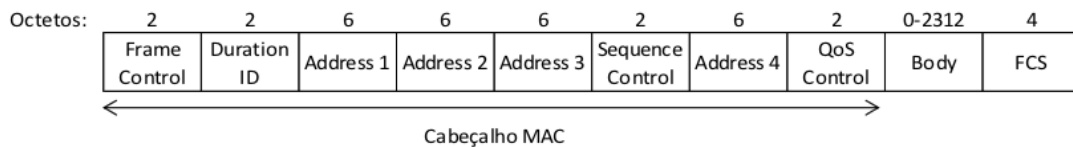


Figura B.1: Quadro do padrão IEEE 802.11

*Duration/ID* – usado para indicar o tempo restante necessário para receber a próxima transmissão.

Segue a descrição de alguns campos do quadro 802.11

### B.1 *Address Fields*(Campo de endereços)

Os quatro campos de endereço podem conter uma combinação dos seguintes tipos de endereços, dependendo do tipo de quadro.

BSSID (Identificador de BSS) – identifica cada BSS. No caso de uma rede infraestruturada é o endereço MAC do AP quem cria a rede, enquanto na organização Ad-Hoc é o endereço MAC da estação;

DA (Endereço Destino) – endereço MAC do destino final da transmissão;

SA (Endereço Fonte) – endereço MAC da origem que transmitiu inicialmente o quadro;

RA (Endereço Receptor) – endereço MAC da próxima estação a receber o quadro;

TA (Endereço Transmissor) – endereço MAC da estação que transmitiu o quadro na rede sem fio;

To DS	From DS	END.1	END.2	END.3	END.4
0	0	DA	SA	BSSID	-
0	1	DA	BSSID	SA	-
1	0	BSSID	SA	DA	-
1	1	RA	TA	DA	SA

Tabela B.1: Combinações do campo de endereços

## B.2 Sequence Control Field (Campo de Controle de Sequência)

Campo, composto por dois subcampos, o *Sequence Number* e o *Fragment Number*

*Sequence Number* - possui 12 bits e indica o número de sequência de cada quadro. No caso de um quadro fragmentado, o valor é igual em todos quadros. No próximo quadro não fragmentado, o número de sequência é incrementado, com limite de até 4095, retornando para zero.

*Fragment Number* – possui 4 bits e indica o número para cada fragmento do quadro enviado. O valor inicial é zero e é incrementado para cada fragmento.

## B.3 Frame Control Field (Campo Controle de Quadro)

O campo *Frame Control* é composto pelos seguintes campos:

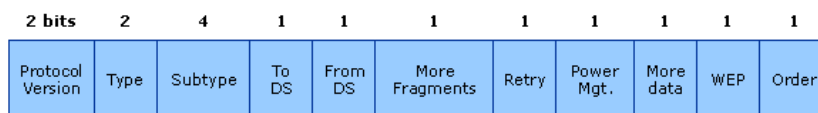


Figura B.2: Estrutura do Frame Control

*Protocol Version* (Versão do protocolo) – Identifica a versão do protocolo utilizado, as estações receptoras usam este valor para verificar se a versão do protocolo do quadro recebido é suportado;

*Type* (Tipo) – Indica o tipo de transmissão, no qual pode ser de três tipos: Transmissão de dados, de gerenciamento ou controle;

*Subtype* (Subtipo) – Indica o subtipo, que determina uma função específica desempenhada pelo tipo de transmissão utilizado;

*To DS* (para o Sistema de Distribuição) e *From DS* (do Sistema de Distribuição) – indica se o quadro está indo para o DS ou se é de origem do DS. Usados somente em quadros do tipo dados;

*More Fragments* (mais fragmentos) – indica se irá chegar mais fragmentos do quadro (dados ou gerenciamento);

*Retry* (retransmissão) – Indica se a transmissão é de retransmissão ou não;

*Power Management* (Gerenciamento de Energia) – indica se a estação que transmitiu a informação está em modo ativo ou em modo de economia de energia;

*More Data* (Mais Dados) – indica para uma estação operando em modo de economia de energia, que virão mais transmissões;

*WEP* – Indica se o conteúdo da transmissão está criptografado;

*Order* (Ordem) – Indica se os quadros de dados recebidos devem ser processados pelo seu número de sequência;

## *Referências Bibliográficas*

- ABID, M. R. *Link Quality Characterization in IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks*. [S.l.]: Graduate Faculty of Auburn University, 2010.
- ABREU, L. de. *PROGRAMA UM COMPUTADOR POR ALUNO - UCA*. 2010. [www.uca.gov.br/institucional/.../PortoAlegre\\_Relatorio\\_3.pdf](http://www.uca.gov.br/institucional/.../PortoAlegre_Relatorio_3.pdf). Acesado em 10 janeiro de 2012.
- ALBUQUERQUE, C. V. N. d. . *Multihop MAC: Desvendando o Padrão 802.11s*. 2008. <http://www.ic.uff.br/~celio/papers/minicurso-sbrc08.pdf>. Acesado em 21 outubro de 2011.
- EDUCACAO, M. da. *UCA - Histórico*. 2010. [http://www.uca.gov.br/institucional/projeto\\_ComoComecou.jsp#](http://www.uca.gov.br/institucional/projeto_ComoComecou.jsp#). Acesado em 26 junho de 2012.
- HENRY, J. *802.11s Mesh Networking*. [S.l.]: cwnp, 2011.
- JUN J. E SICHITIU, M. L. *The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks*. [S.l.]: IEEE Wireless Communications, 2003.
- KNIGHTLY, J. D. CAMP e; W., E. *The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard*. 2008. <http://www.ece.rice.edu/~camp/mesh80211s.pdf>. Acesado em 10 novembro de 2011.
- MESH;, G. *ReMesh - Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga Sem Fio*. 2006. <http://mesh.ic.uff.br/>. Acesado em 12 novembro de 2011.
- NI, S. et al. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. In: ACM. *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*. [S.l.], 1999. p. 151–162.
- PERKINS, C.; ROYER, E.; DAS, S. *RFC 3561 Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*. [S.l.], 2003. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc3561>>.
- PIRES, A.; FONTES, M.; REZENDE, J. de. Proposta e avaliação de um esquema de controle de potência com memória em redes ad hoc 802.11. 2004.
- ROCHA, J. W. V. *Redes WLAN de Alta Velocidade I: Características*. 2006. [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanI/pagina\\_4.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanI/pagina_4.asp). Acesado em 03 novembro de 2011.
- RODRIGUES, N. J. P. F. *Tese: Redes Mesh Sem-Fios*. 2009. [http://paginas.fe.up.pt/.../files/tese\\_versao\\_provisoria\\_NunoRodrigues.pdf](http://paginas.fe.up.pt/.../files/tese_versao_provisoria_NunoRodrigues.pdf). Acesado em 19 novembro de 2011.

RUBINSTEIN, M. G. *Redes de Computadores sem Fio*. 2009. <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/viewFile/155/17>. Acesado em 19 agosto de 2011.

SAADE, P. D. C. M. *Padrão IEEE 802.11s e sua Implementação pela OLPC*. 2007. [http://www.midiacom.uff.br/~debora/fsmm/trab-2007.../apres\\_80211s.pdf](http://www.midiacom.uff.br/~debora/fsmm/trab-2007.../apres_80211s.pdf). Acesado em 23 outubro de 2011.

SOCIETY, I. C. *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. [S.l.]: IEEE, 2011.

TAMIMI, A.-K. R. A. *Security in Wireless Data Networks: A Survey Paper*. 2006. [http://http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wireless\\_security](http://http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wireless_security). Acesado em 10 janeiro de 2012.

TEIXEIRA, E. R. D. *Wireless Mesh Networks*. 2004. <http://http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn>. Acesado em 15 setembro de 2011.

WIRELESS linux. *Mac80211 - Official Linux wireless Wiki*. IEEE Wireless Communications, 2010. Disponível em: <<http://linuxwireless.org/en/developers/Documentation/mac80211>>.

XAUD, A. L. D. A. F. d. S. MORAES e. *Redes Ad Hoc Protocolos DSR, AODV, OLSR, DSDV*. 2009. [http://www.gta.ufrj.br/grad/09\\_1/versao-final/adhoc/aodv.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/adhoc/aodv.html). Acesado em 29 agosto de 2011.

ZHANG, Y.; HU, H. *Wireless mesh networking: architectures, protocols and standards*. [S.l.]: Auerbach Pub, 2006.