

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES**

**OUTROS TRABALHOS EM:**  
**[www.projetoderedes.com.br](http://www.projetoderedes.com.br)**

**ESTUDO DA TECNOLOGIA, DO DESENVOLVIMENTO E DA UTILIZAÇÃO DAS REDES MESH**

**FERNANDA WALTRICK ARRUDA**

**BLUMENAU**

**2010**

**FERNANDA WALTRICK ARRUDA**

**ESTUDO DA TECNOLOGIA, DO DESENVOLVIMENTO E DA UTILIZAÇÃO DAS REDES MESH**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para avaliação de Graduação do  
curso de Engenharia de Telecomunicações, do  
Departamento de Engenharia Elétrica e  
Telecomunicações do Centro de Ciências  
Tecnológicas da Universidade Regional de  
Blumenau.

Prof. Francisco Adell Péricas, Ms. – Orientador

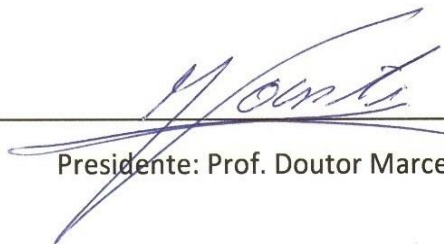
**BLUMENAU**

**2010**

Estudo da Tecnologia, do Desenvolvimento e da Utilização das Redes Mesh.

**FERNANDA WALTRICK ARRUDA**

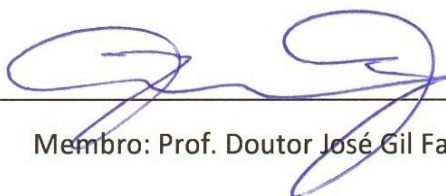
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado,  
para obtenção do grau de Engenheiro (a) de  
Telecomunicações, pela Banca Examinadora  
formada por:



Presidente: Prof. Doutor Marcelo Grafulha Vanti, FURB



Membro: Prof. Mestre Francisco Adell Péricas, Orientador, FURB



Membro: Prof. Doutor José Gil Fausto Zipf, FURB



Membro: Prof. Eng. Hermínio Ulrich, FURB

Aprovado em: 09/02/2011

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apóia e está ao meu lado. Em especial a minha avó Estela (em memória) que com suas doces palavras sempre me incentivou a persistir e seguir em frente.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus e a minha Nossa Senhora Aparecida, pela proteção e por me guiar em todos os dias da minha vida.

Agradeço ao Professor Francisco Adell Péricas, pela orientação cheia de motivação ao realizar este trabalho e pela sua disponibilidade sempre que precisei.

Sinceros agradecimentos aos meus familiares e amigos, que me apoiaram nestes anos durante minha jornada na faculdade e sem os quais nada disso teria sido possível.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.”

Roberto Shinyashiki

## RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo aprofundado sobre Redes *Mesh*, o seu estado da arte, o seu funcionamento e os principais protocolos de roteamento envolvidos. Foram analisados vários projetos relacionados às redes em malha: soluções comerciais, projetos de pesquisas e cidades digitais, que buscam através das Redes *Mesh* a inclusão digital e o acesso fácil à internet em lugares abertos. Uma análise mais aprofundada foi feita em projetos considerados de maior relevância para o trabalho, com o objetivo de esclarecer o funcionamento prático das redes, mostrando suas vantagens e as dificuldades encontradas para a sua implantação.

Palavra - chave: Redes *Mesh*. Protocolos de roteamento. Inclusão digital.

## ABSTRACT

This work consists in a detailed study about Mesh Networks, its art state, its operation and the main routing protocols envolved. Many projects related to Mesh Networks were analyzed: commercial solutions, research projects and digital cities, that seek through Mesh Networks the digital inclusion and the easy internet access in open areas. An analysis more detailed was studied in projects considered more relevant for the work, with the objective of making the practical operation of the networks clear, showing its advantages and difficulties found for its deployment.

Keywords: *Mesh* Network. Routing protocol. Digital inclusion.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Ilustração da topologia em Malha, <i>Mesh</i> .....                    | 16 |
| Figura 2.2 – Arquitetura <i>Mesh</i> .....  | 17 |
| Figura 2.3 – Principal classificação dos protocolos de roteamento ad-hoc.....       | 19 |
| Figura 3.1 – Posição dos nós Roofnet e a qualidade dos enlaces .....                | 23 |
| Figura 3.2 – Topologia de funcionamento do equipamento Hotzone Due da Motorola..... | 26 |
| Figura 3.3 – Projeto Rede Mesh na Cidade de Tiradentes, Minas Gerais.....           | 28 |
| Figura 3.4 – Localização dos pontos de acesso em Icoaraci, Belém .....              | 30 |
| Figura 3.5 – Posição dos roteadores que formarão a malha .....                      | 31 |
| Figura 4.1 – Área de cobertura estimada pelo backbone da Rede Mesh.....             | 32 |
| Figura 4.2 – Tráfego da Rede Mesh no mês de agosto de 2010, Projeto PUCPR .....     | 34 |
| Figura 4.3 – Pontos adicionais da Rede na PUCPR.....                                | 34 |
| Figura 4.4 – Vista parcial da UFF, Niterói, Rio de Janeiro.....                     | 35 |
| Figura 4.5 – Modelo da Rede Mesh do Projeto ReMesh .....                            | 36 |
| Figura 4.6 – Ambiente interno de teste do Projeto ReMesh .....                      | 37 |
| Figura 4.7 – Taxa de perdas de pacote com até 8 saltos.....                         | 37 |
| Figura 4.8 – Retardos de ida e volta com até 8 saltos .....                         | 38 |
| Figura 4.9 – Vazão média com até 8 saltos .....                                     | 38 |
| Figura 4.10 – Orla de Copacabana, Rio de Janeiro .....                              | 40 |
| Figura 4.11 – Área de cobertura de uma das quatro células do Projeto .....          | 40 |
| Figura 4.12 – Orla de Ipanema e Leblon, Rio de Janeiro.....                         | 41 |
| Figura 4.13 – Área de cobertura de uma das três células do Projeto.....             | 41 |
| Figura 4.14 – Diagrama de serviços do Projeto <i>Mesh</i> Haiti .....               | 43 |
| Figura 4.15 – Ilustração dos serviços de rede do projeto.....                       | 44 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**Ad-hoc** = Para esta finalidade, com este objetivo

**ADSL** = Assymmetric Digital Subscriber Line

**AODV** = Ad-hoc On-Demand Distance Vector

**AWPP** = Adaptive Wireless Path Protocol

**Dial-up** = Linha comutada

**DSL** = Digital Subscriber Line

**DSR** = Dynamic Source Routing

**ETX** = Expected Transmission Count

**IEEE** = Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IETF** = Internet Engineering Task Force

**IP** = Internet Protocol

**MPR** = Multi Point Relays

**OLSP-ML** = Optimized Link State Routing Minimum Loss

**OLSR** = Optimized Link State Routing

**WiFi** = Wireless Fidelity

**WiMAX** = Worldwide Interoperability for Microwave Access

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>13</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....                                      | 14        |
| 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....                                 | 14        |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                               | 14        |
| <b>2 ESTADO DA ARTE DAS REDES MESH.....</b>                   | <b>16</b> |
| 2.1 FUNCIONAMENTO.....  | 16        |
| 2.2 AD-HOC E AS REDES MESH.....                               | 18        |
| 2.3 PROTOCOLOS.....   | 18        |
| 2.3.1 OLSR.....   | 20        |
| 2.3.2 AODV.....   | 20        |
| 2.3.3 DSR .....   | 21        |
| <b>3 PROJETOS RELACIONADOS AS REDES MESH.....</b>             | <b>22</b> |
| 3.1 PROJETOS DE PESQUISA SOBRE REDES MESH.....                | 22        |
| 3.1.1 ReMesh.....   | 22        |
| 3.1.2 VMesh.....  | 22        |
| 3.1.3 RoofNet.....  | 23        |
| 3.1.4 Projeto Laptop a U\$100,00 (OLPC).....                  | 24        |
| 3.1.5 Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)..... | 24        |
| 3.2 SOLUÇÕES COMERCIAIS.....                                  | 24        |
| 3.2.1 Nortel (WMesh).....                                     | 24        |
| 3.2.2 Cisco (Wireless Mesh).....                              | 25        |
| 3.2.3 Motorola.....   | 25        |
| 3.2.4 Ozone.....  | 26        |
| 3.3 CIDADES DIGITAIS.....                                     | 27        |
| 3.3.1 Tiradentes Digital (MG).....                            | 27        |
| 3.3.2 Taipei (Taiwan).....                                    | 28        |
| 3.3.3 Filadélfia Digital (EUA).....                           | 28        |
| 3.3.4 Projeto Orla Digital.....                               | 29        |
| 3.3.5 Redes Mesh em áreas periféricas de Icoaraci, Belém..... | 30        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.6. Projeto <i>Mesh</i> Haiti .....   | 31        |
| <b>4 RESULTADOS DE AVALIAÇÕES DE CASOS DE USO.....</b>                             | <b>32</b> |
| 4.1 PROJETO <i>MESH</i> DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ (PUCPR)..... | 32        |
| 4.2 PROJETO REMESH.....  | 35        |
| 4.3 PROJETO ORLA DIGITAL.....  | 39        |
| 4.4 PROJETO <i>MESH</i> HAITI .....  | 42        |
| 4.5 CONCLUSÃO DOS PROJETOS DETALHADOS .....  | 45        |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>49</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a apresentação, em 1997, do padrão IEEE 802.11, conhecido como *WiFi*, muitas aplicações vêm sendo criadas para esta tecnologia. Seu principal uso é em redes locais e públicas, através de pontos de acesso ligados diretamente a uma rede fixa [22].

A idéia de roteamento automático em uma rede em malha remonta ao trabalho de Paul Baran no início dos anos sessenta. Ele imaginou uma rede com enlaces de microondas ponto-a-ponto. Suas idéias foram implementadas na rede ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network, agência do departamento de defesa dos EUA), dando origem a muitos dos algoritmos de roteamento utilizados na Internet atual. Nos anos setenta e oitenta a PRNet (Packet Radio Network) da DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) criou muitas das técnicas usadas também em redes em malha sem fios [22] com o objetivo de buscar uma rede que permitisse uma comunicação fim a fim, sem a necessidade de comunicação através de um nó central [23].

A facilidade que essas novas tecnologias desenvolvidas nas áreas de telecomunicações trazem para as pessoas é indiscutível. Uma atenção maior deve-se dar aos sistemas de telefonia móvel, que são sistemas que permitem mobilidade durante a comunicação sem interrupção.

Na área de redes de computadores não é diferente, a busca por essa mobilidade também é um objetivo, que pode ser alcançado através, por exemplo, das Redes em Malha Sem Fio, chamadas Redes *Mesh*, uma das novas aplicações do *WiFi*.

As Redes *Mesh* adéquam-se a lugares de difícil acesso, onde outros tipos de tecnologias encontram dificuldade para serem colocadas em prática. A facilidade da implantação das Redes *Mesh* aliada ao baixo custo por precisar de apenas um ponto cabeado e a configuração automática, ou seja, incorporação de um novo ponto na estrutura existente criando-se uma espécie de teia, de malha de conectividade são vantagens que garantem o desenvolvimento das Redes *Mesh*.

As características particulares das Redes *Mesh* têm sido estudadas e aprimoradas, porém ainda não foram completamente exploradas. Talvez por isso as redes ainda não desenvolvam todo seu potencial em termos de desempenho e serviços oferecidos.

Em função da importância que a mobilidade de equipamentos conectados em rede está tendo atualmente, a área de telecomunicações percebeu nas Redes *Mesh* uma alternativa tecnológica adequada. Esse tipo de rede permite esta mobilidade de forma automática e, portanto, transparente para o usuário. Como isso, este trabalho visa pesquisar o estado da arte desta tecnologia para fundamentar o desenvolvimento e implantação de novas Redes *Mesh*.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Esclarecer o que são as Redes *Mesh*, seu funcionamento, os principais protocolos envolvidos, destacando as vantagens e desvantagens da implantação e da utilização desse tipo de rede.

### 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Pesquisar o estado da arte da tecnologia utilizada nas Redes *Mesh*;
- Fazer um levantamento de usos práticos das Redes *Mesh* em Universidades, empresas e cidades digitais;
- Fazer uma análise detalhada dos resultados obtidos pelos principais casos de uso de implantação de Redes *Mesh*;
- Apresentar uma avaliação atual do uso das Redes *Mesh*.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução às Redes *Mesh*. No segundo capítulo é explicitado sua estrutura, seu funcionamento e os protocolos envolvidos.

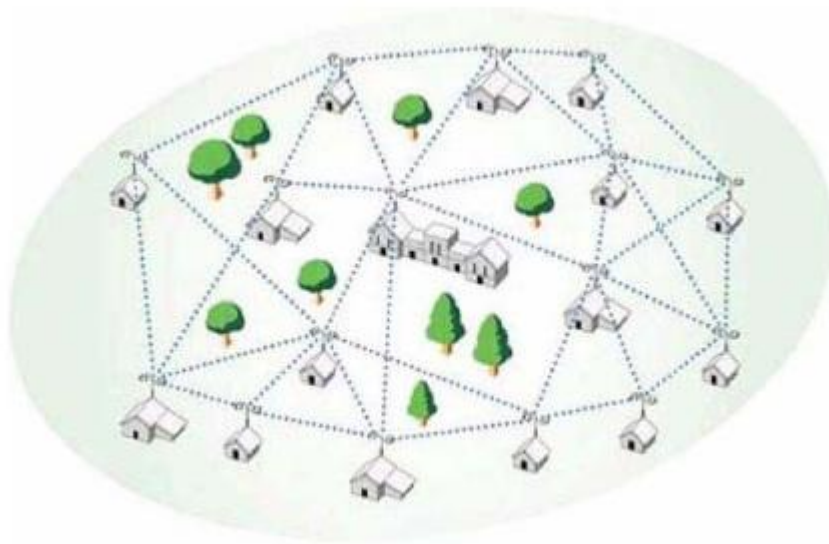
Em seguida, no terceiro capítulo são mencionados alguns projetos relacionados às Redes *Mesh*. No quarto capítulo são apresentados resultados de casos de uso dos projetos considerados de maior relevância que utilizam as Redes *Mesh* como solução.

Ao final é apresentada uma conclusão do trabalho, que contém as principais vantagens e desvantagens conhecidas através dos projetos pesquisados e analisados.

## ESTADO DA ARTE DAS REDES MESH

### 2.1 FUNCIONAMENTO

A conexão da rede *Mesh* sem fio é espalhada entre dezenas, ou até centenas, de pontos *Mesh wireless*, que são pequenos radiotransmissores que funcionam da mesma maneira que um roteador *wireless*, que "conversam" entre si para compartilhar a conexão da rede através de uma grande área. Os pontos utilizam os padrões *WiFi* comuns (802.11), para se comunicarem, sem o uso de fios, com os usuários e, o mais importante, para se comunicarem entre si. Em uma rede *Mesh wireless*, somente um ponto precisa ser fisicamente ligado a uma conexão de rede, como um modem de Internet DSL, esse ponto ligado compartilha sua conexão de Internet, sem o uso de fios, com todos os outros pontos ao seu redor, compartilhando a conexão sem fio com os pontos mais próximos a eles. Quanto mais pontos, mais a conexão se espalha, criando uma espécie de "nuvem de conectividade" sem fio, que pode ser vista na Figura 2.1, atendendo a um pequeno escritório ou a uma cidade com milhões de pessoas [17].



**Figura 2.1: Ilustração da topologia em malha, *Mesh*. Fonte: [17].**

Redes do tipo *Mesh* possuem a vantagem de ser redes de baixo custo, fácil implantação e bastante tolerantes a falhas [18]. O seu custo reduzido para cobertura de

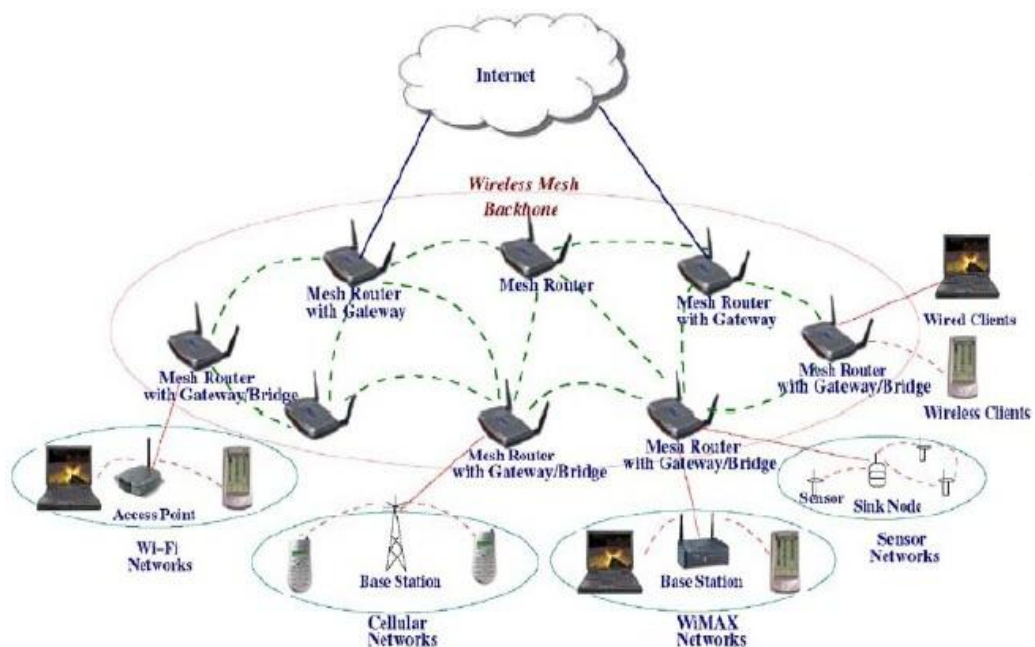
áreas relativamente grandes, onde é financeiramente inviável a instalação de uma infraestrutura de rede cabeada, é um dos seus principais atrativos [19].

Outro ponto muito importante que motiva essa tecnologia é que elas são apropriadas onde não há parede para fazer a conexão *Ethernet* – por exemplo, em locais abertos para shows, depósitos ou locais de transporte. As redes *Mesh* "se configuram automaticamente", ou seja, a rede incorpora automaticamente um novo ponto na estrutura existente sem a necessidade de qualquer ajuste por um administrador de rede e também são "auto-reparadoras", já que a rede encontra automaticamente os caminhos mais rápidos e confiáveis para enviar os dados, mesmo que alguns pontos estejam bloqueados ou perderem seu sinal [17].

Os pontos *Mesh* sem fios são fáceis de instalar e desinstalar, tornando a rede extremamente adaptável e expansível à medida que for necessária mais ou menos cobertura [17].

Essas vantagens serão mostradas em estudos de casos reais ao longo deste trabalho.

Um exemplo da arquitetura *Mesh*, pode ser visto na Figura 2.2.



**Figura 2.2: Arquitetura *Mesh*. Fonte: [27]**

## 2.2 REDES AD-HOC E AS REDES MESH

Redes *ad hoc* são redes sem fio de múltiplos saltos, que têm como características serem auto-configuráveis e suportarem mobilidade [26].

Este tipo de rede se opõe às redes sem fio estruturadas, onde existem pontos de acesso fixos que intermediam toda comunicação dos nós clientes. Em uma rede estruturada, se um nó cliente deseja enviar uma informação a outro cliente, os pacotes deverão ser transmitidos diretamente a um ponto de acesso, que por sua vez irá redirecioná-los ao nó de destino. Já em uma rede *ad hoc* não há necessidade desta infraestrutura, já que a transmissão entre dois clientes se dá de forma direta, ou através de múltiplos saltos, onde os nós intermediários são outros clientes da mesma rede, atuando como roteadores encaminhando os pacotes até o destino final [26].

As redes em malha utilizam comunicação sem fio e de múltiplos saltos, como as redes *ad hoc*. Porém, em redes *Mesh*, existe um subconjunto de nós que não apresenta mobilidade. Estes nós atuam como roteadores para os nós clientes, que podem ser móveis. A idéia é que cada roteador da rede tenha diversos enlaces sem fio com alguns outros nós, de forma que a topologia obtida seja uma malha de enlaces [26].

A grande vantagem desta abordagem é o fato de que cada nó tem vários caminhos alternativos para um mesmo destino. A escalabilidade das redes *ad hoc* continua valendo, já que adicionar um novo ponto à malha só faz com que o número de caminhos alternativos cresça [26].

## 2.3 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

O protocolo de roteamento estabelece a rota pela qual os pacotes, originados em um determinado nó, trafegarão pela rede até que cheguem ao nó destino, inclusive podendo passar por nós intermediários [3].

Existem três tipos de protocolos de roteamento: os Pró-ativos, os Reativos e os Híbridos.

Os protocolos **pró-ativos** são baseados nas tabelas de roteamento que são sempre atualizadas com toda a topologia de rede e utilizam algoritmos que verificam e calculam o menor caminho. Ao se usar este tipo de protocolo, tem-se a vantagem de possuir uma

tabela de rotas, constantemente atualizada que visualiza a melhor rota a ser percorrida pela informação. Porém, o custo de se manter as tabelas atualizadas, por motivos de troca de mensagens de controle, torna-se uma desvantagem deste tipo de protocolo, mas nas redes *Mesh*, pelo fato de não ocorrer constantes mudanças na topologia da rede, não é necessário o envio de pacotes de controle constantemente, portanto, esta desvantagem não é tão visível. Devido a isso faz com que os protocolos pró-ativos tornam-se mais eficientes que os outros tipos de protocolos em redes *Mesh* [16].

Os protocolos **reativos**, ao contrário dos pró-ativos, só enviam informações sobre a topologia quando se deseja enviar um pacote de dados para um destino, quando um dispositivo tiver um dado a enviar para outro. O envio de informações é feita continuamente até receber uma resposta do destinatário, e quando a rota é descoberta, o pacote é então enviado [16].

Segundo [16] existem ainda os protocolos **híbridos**, que combinam as características dos protocolos pró-ativos e reativos. Na Figura 2.3 são enumerados os protocolos de roteamento *Mesh* existentes e sua classificação.

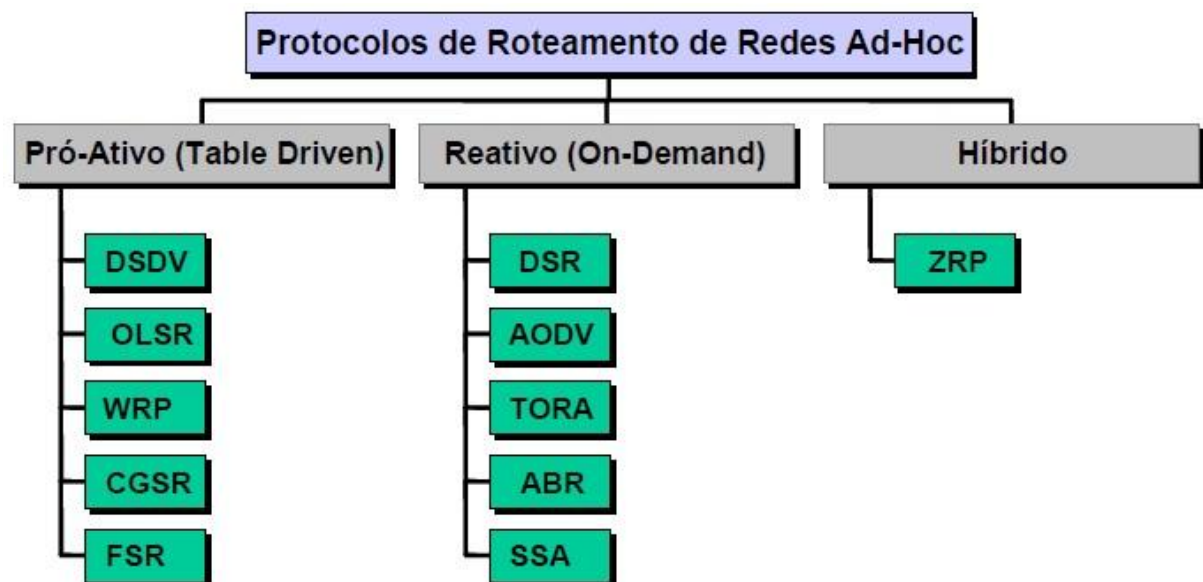


Figura 2.3: Principal classificação dos protocolos de roteamento ad-hoc. Fonte: [3].

Para se implementar uma rede *Mesh* com múltiplos saltos, é necessário escolher um protocolo de roteamento sem fio. Os protocolos de roteamento *ad-hoc* já existentes podem ser ajustados e assim utilizados para prover o funcionamento *Mesh*.

Muitos estudos têm sido realizados na área de protocolos e métricas de roteamento para redes sem fio de múltiplos saltos. Entre todos estes protocolos de roteamento para redes *Mesh* mostrados na Figura 2.3, os mais importantes são OLSR (*Optimized Link State Routing*), AODV (*Ad-hoc On-Demand Distance Vector*) e DSR (*Dynamic Source Routing*), até mesmo por serem especificados pelo órgão internacional de normatização IETF (*Internet Engineering Task Force*), além disso, são os mais citados na literatura.

### 2.3.1 OLSR (*Optimized Link State Routing*)

O protocolo OLSR é um dos mais utilizados segundo a literatura, para implementação das Redes *Mesh*. Seu funcionamento acontece da seguinte maneira: de acordo com o crescimento da rede, são selecionados dinamicamente alguns nós vizinhos que são denominados MPR's (*Multi Point Relays*) onde, através deles os roteadores enviam informações que tem como destino nós mais distantes, diminuindo assim o tráfego na rede e a colisão de informações na camada de transporte. O OLSR padrão decide pela melhor rota apenas pelo menor número de saltos, o que não é a melhor alternativa, pois, apesar de existir um menor número de saltos entre dois dispositivos este menor caminho pode estar mais congestionado que outro com saltos adicionais [16].

A Universidade Federal Fluminense (UFF) em parceria com a Rede Nacional de Pesquisa (RNP) realiza um projeto chamado ReMesh, cujo funcionamento será detalhado nos próximos tópicos deste trabalho. Neste estudo foi feito um aprimoramento do protocolo OLSR onde é executado o monitoramento da taxa de perda dos *links* e com a topologia montada, o roteador decide pela rota com a menor taxa de perda. Essa extensão do protocolo recebeu o nome de OLSP-ML (*Minimum Loss*).

### 2.3.2 AODV (*Ad-hoc On-Demand Distance Vector*)

O AODV é um protocolo considerado reativo, mas utiliza-se de algumas facilidades dos protocolos considerados pró-ativos. É um protocolo baseado no algoritmo de vetor de distância, porém com algumas modificações para um funcionamento eficiente em redes sem fio. Tenta eliminar a necessidade de um *broadcast* global das informações de roteamento,

evitando o alto consumo de banda por pacotes de controle. O AODV possui algumas características que possibilitam uma rápida adaptação a modificações de topologia, como os pacotes de controle e a tabela de roteamento [3].

### 2.3.3 DSR (*Dynamic Source Routing*)

Este é um protocolo do tipo roteamento na origem (*source routing*) e como tal, lida com rotas completas que são aprendidas através da etapa de descobrimento de rotas iniciada pelo dispositivo de origem, caso o mesmo não conheça a rota para um determinado destino. Como é um protocolo reativo, o DSR apenas inicia o mecanismo de descobrimento de rotas quando existe a necessidade de comunicação com um destino e a rota não é conhecida, não sendo necessários pacotes periódicos de atualização de rota. Assim, é possível identificar duas etapas principais deste protocolo, o descobrimento de rotas e a manutenção de rotas (através de confirmação de entrega) [3].

### 3 PROJETOS RELACIONADOS ÀS REDES MESH

Várias propostas e estudos utilizando Redes *Mesh* têm surgido e estão sendo postas em prática. Para ilustrar melhor esse assunto, serão abordados exemplos de aplicações empregando esta tecnologia.

#### 3.1 PROJETOS DE PESQUISA SOBRE REDES MESH

##### 3.1.1 ReMesh

Inspirado nos testes piloto de Redes *Mesh* ao redor do mundo, este projeto propõe a implantação de uma rede de acesso do tipo *Mesh* para usuários universitários que residem nas proximidades de sua universidade. Em particular o projeto se compromete a desenvolver e testar o acesso via Rede *Mesh* nas comunidades situadas ao redor dos diversos campi da Universidade Federal Fluminense (UFF). A UFF possui seus campi integrados a diversas comunidades na cidade de Niterói, incluindo os bairros de Icaraí, Boa Viagem, Ingá, Santa Rosa, além do centro de Niterói. A topologia da cidade, a alta densidade populacional e a proximidade dos edifícios residenciais aos diversos campi da UFF propiciam um cenário perfeito para implantação de redes de acesso do tipo *Mesh*. [15]

##### 3.1.2 VMesh

O projeto VMesh [8], da Universidade de Thessaly, na Grécia, foi elaborado por um grupo de pesquisadores, com o objetivo de implantar uma Rede *Mesh* de baixo custo na cidade de Volos (Grécia), para prover acesso à Internet aos estudantes da universidade, funcionários e professores, a partir de suas residências. O protocolo de roteamento escolhido foi o OLSR, implementado nos roteadores wireless do modelo Linksys WRT54G e WRT54GS, através de uma modificação no sistema operacional OpenWRT[9]. A rede possui roteadores wireless que foram instalados no topo dos prédios o que permitiu uma melhor conectividade [3].

### 3.1.3 RoofNet

O projeto foi elaborado por uma equipe de pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT – *Massachusetts Institute of Technology*) com o objetivo de estudar o comportamento de redes sem fio de grande escala. O acesso é realizado por um hardware específico fornecido pelos pesquisadores, incluindo PC com sistema operacional Linux e placa de rede sem fio padrão 802.11b [3]. RoofNet consiste de cerca de 50 nós em apartamentos de Cambridge, Massachusetts, ao norte do MIT, conforme Figura 3.1, composto por edifícios de três a quatro andares, assim a linha de visão não é rara para longas distâncias. Muitos edifícios têm coberturas planas, o que torna possível a instalação da antena, com o máximo alcance útil do rádio de cerca de 100 metros, embora a variação seja enorme [10].



**Figura 3.1: Posição dos nós Roofnet e a qualidade dos links de rádio entre pares de nós. Fonte:**

**[10].**

### 3.1.4 Projeto Laptop a U\$100,00 (OLPC)

O projeto OLPC (*One Laptop per Child*) foi proposto por Nicholas Negroponte, responsável pelo Media Lab do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT - Massachusetts Institute of Technology) e é desenvolvido de acordo com algumas parcerias, incluindo o Brasil. Este projeto propõe o fornecimento de um laptop por criança, a um custo de US\$ 100,00 cada, incentivando a inclusão digital em países em desenvolvimento. A proposta para a viabilização do acesso à Internet é ligar esses laptops em uma Rede *Mesh*, onde cada uma das máquinas possa atuar em modo ad-hoc [3].

### 3.1.5 Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

Visando outras soluções e aplicações que podem ser criadas através das Redes *Mesh* e com a intenção de permitir o acesso a essa tecnologia, a PUCPR em parceria com a Associação Paranaense de Cultura (APC) e as empresas Trinity e Redmoon investiram em tecnologia *Mesh* para distribuição de sinal *WiFi* em áreas abertas do campus da PUCPR.

## 3.2 SOLUÇÕES COMERCIAIS

As redes em malha sem fio estão empurrando a comunicação sem fio para uma nova era. A identificação das necessidades do mercado é crucial para compreender as oportunidades e as vantagens competitivas [7]. A seguir, são apresentados alguns casos comerciais utilizando soluções *Mesh*.

### 3.2.1 Nortel (WMesh)

A empresa Nortel atua em mais de 150 países, oferecendo soluções tecnológicas na área de telecomunicações e juntamente com a Telemar e a Vex, lançaram a primeira Rede *Mesh* do Brasil, que foi testada em junho de 2005 na Costa do Sauípe, Bahia, no 49º Painel TeleBrasil. A solução WMesh desenvolvida para superar os limites de alcance dos hotspots *WiFi* e proporcionar cobertura *wireless* interna e externa com a melhor relação custo-benefício do mercado. [14]

Segundo o diretor executivo da Nortel do Brasil, Alberto Barriento, WMesh é a primeira banda larga que ultrapassa os limites de um ambiente fechado e permite ampla cobertura em áreas urbanas sem perda de conexão entre os *Access Points* (pontos de acesso).

A tecnologia WMesh é baseada no padrão 802.11, consolidado pelo mercado, e que possibilita o uso de todos os dispositivos móveis - notebooks, telefones celulares. A solução é composta pelo *Access Point 7220* (responsável pela captação e transmissão do tráfego do usuário até o ponto de conexão com a rede fixa), o *Wireless Gateway 7250* (é o responsável pelo controle dos *Access Points*, além de conferir confidencialidade, integridade, autenticidade e mobilidade à rede) e o *Network Operations Support Systems (NOSS)*, que atua no gerenciamento e autenticação dos elementos da rede. [14]

### 3.2.2 Cisco (Wireless Mesh)

A empresa Cisco, através da solução *Wireless Networking* baseada em padrões de acesso sem fio, aproveita da popularidade crescente de clientes de baixo custo *WiFi*, permitindo novas oportunidades de serviços e aplicações para seus usuários. A solução Cisco fornece roteamento inteligente sem fio, criando ligações dinâmicas entre pontos de acesso *wireless* e eliminando a necessidade de uma conexão de rede sem fio para cada ponto de acesso. Com *Wireless Mesh* e os equipamentos Cisco Aironet 1400 Series ou a Cisco Aironet 1300 Series, as organizações podem oferecer maneiras inovadoras para acelerar a comunicação e prestação de serviços aos funcionários e cidadãos, atender às necessidades específicas dos governos locais, agências públicas de segurança, agências de transporte e companhias de petróleo e gás. [13]

### 3.2.3 Motorola

A Motorola é uma empresa muito conhecida no mercado e vem desenvolvendo equipamentos e já possui softwares (*BroadbandPlanner*, *EnterprisePlanner*, *MeshScanner* [11]) para especificação e criação de redes sem fio, que ajudam a propor, projetar, implantar e medir soluções de Redes *Mesh*. Algumas dessas soluções verificam o desempenho, faz análise de interferência e medição de sinal das redes em malha.



colocação de postes de luz, a maioria como *backhaul* de uma rede sem fio. Por exemplo, de acordo com a Ozone, 1000 instalações em telhados podem oferecer um primeiro mapeamento de Paris (105 quilômetros quadrados), cada antena cobrindo uma área com raio de 200 metros [7].

### 3.3 CIDADES DIGITAIS

Conhecidas também como *cibercity*, *digital city* ou *wireless city*, as cidades digitais são municípios ou cidades onde são desenvolvidos projetos para prover acesso sem fio à Internet para toda a comunidade.

Redes *Mesh* usando enlaces IEEE 802.11 para redes locais sem fio (*WiFi*) ou mesmo IEEE 802.16 (*WiMAX*), é a tecnologia mais utilizada na construção das cidades digitais [3]. Algumas dessas iniciativas serão mostradas a seguir.

#### 3.3.1 Tiradentes Digital (MG)

Localizada no estado de Minas Gerais a 210 quilômetros da capital Belo Horizonte, a cidade de Tiradentes é pioneira do projeto das Cidades Digitais, com parceria do Ministério das Comunicações, da Prefeitura local e de empresas de tecnologia. Utilizando a tecnologia *Wireless Mesh* da Cisco, para a construção de uma rede de acesso a escolas municipais, prédios da prefeitura, postos de saúde e centros comunitários [1].

Tiradentes é uma cidade tombada pelo Patrimônio Histórico Nacional, tem o terreno ondulado e toda cidade é feita de pedra. As paredes das casas são muito largas o que dificulta a passagem de onda *wireless* [2], constituindo uma combinação que representava um grande desafio para implantação de uma Rede *Mesh*.

Em uma avaliação mais apurada, detectou-se que a implantação da tecnologia seria melhor em locais altos, resultando em uma rede capaz de cobrir grandes distâncias e oferecer acesso de qualidade nos terrenos acidentados. Assim, foram instalados rádios da série Aironet 1500 Lightweight Mesh AP (equipamento CISCO) nos seguintes pontos: igreja São Francisco/Rodoviária (ponto de acesso), igreja Matriz (ponto de acesso), escola Basílio da Gama (ponto de acesso) e o ponto central foi localizado na Prefeitura Municipal (roteador e gerência) [3], que podem ser visto na Figura 3.3.

A solução CISCO de Redes *Mesh* sem fio é parte da arquitetura CISCO de redes *wireless* unificadas. A solução é baseada na série CISCO Aironet 1500, tendo 32 pontos de acesso *Mesh* externos (802.11a/b/g – modelo 1510 – e 802.11b/g – modelo 1505), e usa o protocolo CISCO *Adaptive Wireless Path Protocol* (AWPP), com patente em processo de registro, para comunicação entre os roteadores [2].



**Figura 3.3: Projeto Rede *Mesh* na cidade de Tiradentes, Minas Gerais. Fonte: Folheto explicativo da Cisco sobre o projeto**

### 3.3.2 Taipei (Taiwan)

Na cidade de Taipei, em Taiwan, foi posta em prática a instalação de uma imensa rede corporativa *Mesh*, com pontos de acesso espalhados por toda a cidade [4]. Quando completo, é esperado que possua 10.000 pontos de acesso instalados cobrindo 90% dos 272 quilômetros quadrados com uma população de 2,65 milhões de habitantes [3] [5].

A topologia da solução proposta é da empresa Nortel. Vários pontos de acesso formam juntos uma rede comunitária, por onde podem entrar os dispositivos móveis da rede. As redes comunitárias, por sua vez, são conectadas a roteadores que provêem acesso à grande rede [4].

### 3.3.3 Filadélfia Digital

A prefeitura da cidade da Filadélfia (EUA) investiu no desenvolvimento de um projeto, *Wireless* Filadélfia – cidade digital, para prover acesso à Internet através de uma Rede *Mesh* de baixo custo. É uma iniciativa sem fins lucrativos, que almeja viabilizar o uso do acesso banda larga para a população de mais baixa renda. A rede é composta de roteadores sem fio espalhados pela cidade, e a solução da rede foi idealizada pela empresa Tropos Networks [3].

A rede utiliza um roteador de rede sem fio, baseado no padrão 802.11. O equipamento 5110 Tropos é rápido e inteligente, usa um protocolo de rotas de tráfego sem fio, fornecendo uma cobertura abrangente sobre as áreas metropolitanas, eliminando até 95% da estrutura com fio associados às soluções tradicionais de ponto de acesso [6].

#### 3.3.4 Projeto Orla Digital

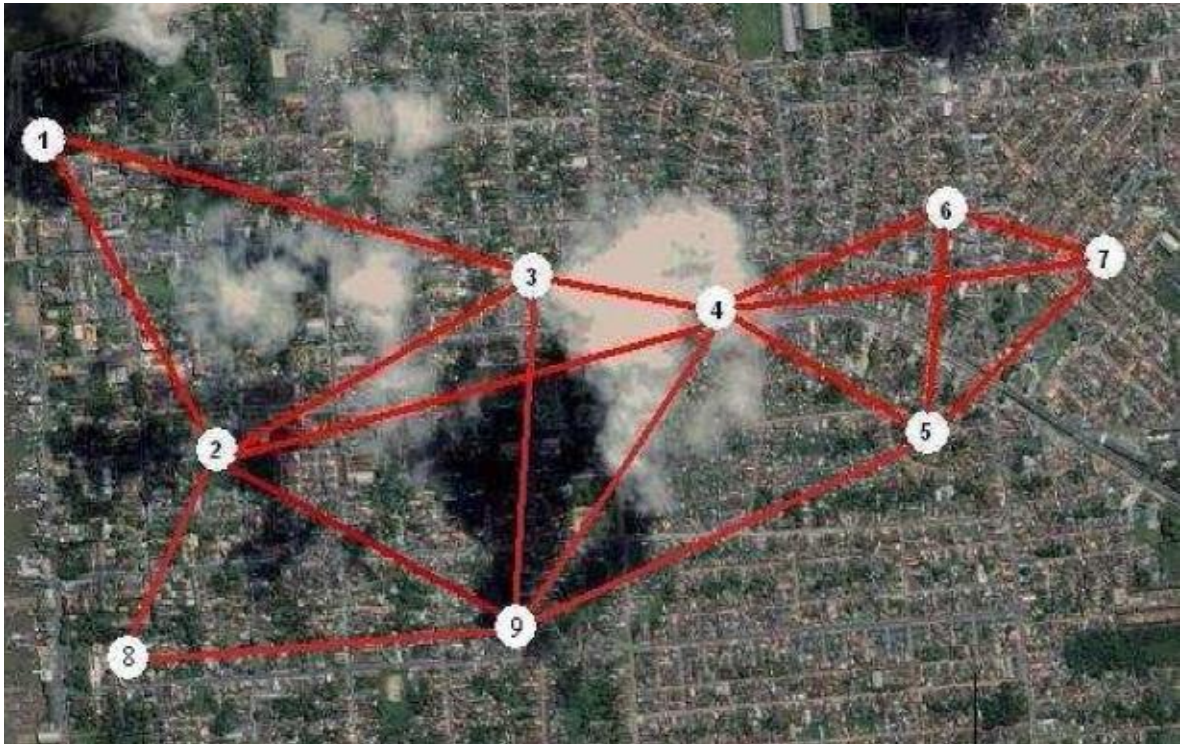
O Projeto Orla Digital é uma iniciativa da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro (SECT/RJ). A implantação das tecnologias e instalação dos equipamentos utilizados no projeto foi realizada em parceria com a Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), dos Laboratórios de Redes de Alta Velocidade (Ravel) e de Computação Paralela (LCP) e do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC), da Coppe/UFRJ. O projeto Orla Digital trouxe mais do que o charme de proporcionar conexão *WiFi* à beira do mar de Copacabana, de Ipanema e do Leblon, no Rio de Janeiro [24].

#### 3.3.5 Redes *Mesh* em áreas periféricas de Icoaraci, Belém

Como uma forma de solucionar o problema da exclusão digital em áreas periféricas, tendo como base a idéia da construção de uma cidade digital, a partir da análise de algumas áreas da grande Belém, acredita-se que uma das áreas propícias para a realização da proposta do uso de Redes *Mesh* é a região do Distrito de Icoaraci, por possuir áreas onde o nível sócio-econômico é relativamente baixo, fazendo com que fique inviável na maioria dos casos adquirirem acesso à grande rede de informações através das maneiras convencionais, ou seja, via ADSL ou *Dial up*. Outro fator que viabiliza a implantação do projeto em Icoaraci é o fato de já existir uma infra-estrutura criada para outras finalidades e que poderá ser

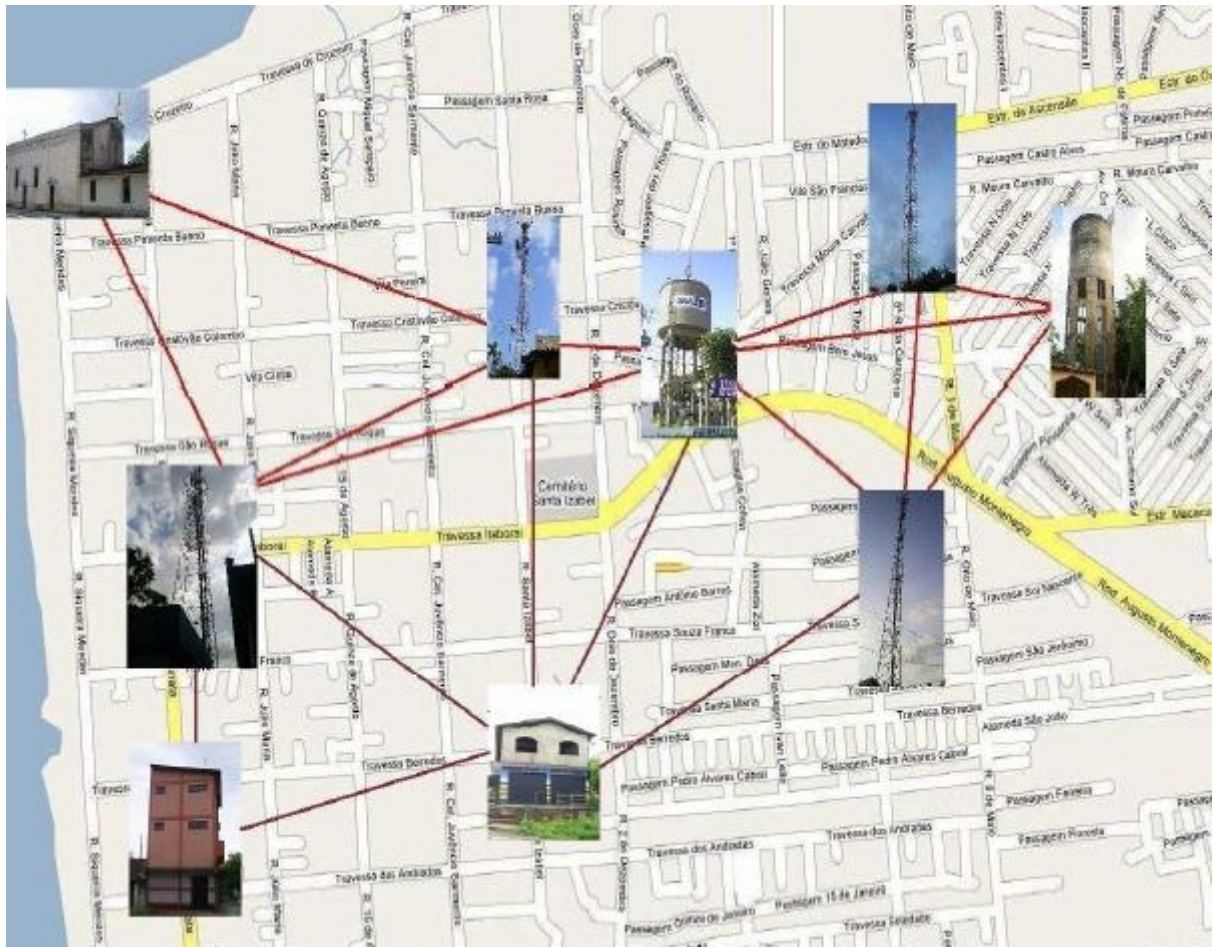
“aproveitada” para a instalação dos roteadores, tornando assim cada vez mais barato o uso dessa tecnologia [16].

Na Figura 3.4 os pontos *Mesh* podem ser visto através de uma imagem via satélite da localização onde serão instalados os Pontos de Acesso, os mesmos estão bem distribuídos fazendo com que a malha cubra uma grande área da região de Icoaraci.



**Figura 3.4: Localização dos pontos de acesso em Icoaraci. Fonte: [16]**

Os pontos de acesso serão instalados em antenas e caixas de água espalhadas em uma área de Icoaraci, onde podem ser vistos na Figura 3.5, levando a essa região conectividade a baixo custo gerando como consequência a inclusão digital.



**Figura 3.5: Posição dos roteadores que formarão a malha. Fonte: [16].**

A proposta de uso de Redes *Mesh* traz a alternativa de se ter acesso banda larga através de comunidades carentes e escolas públicas, a princípio. Mas futuramente quem sabe se com um projeto do governo de financiamento de computadores, esse acesso não chegue à casa da população carente [16].

### 3.3.6 Projeto *Mesh* Haiti

Esse projeto foi implementado em Porto Príncipe no Haiti, pelo Tenente Coronel Lucena do Exército Brasileiro, com o objetivo de testar novas tecnologias e obter uma maior segurança para tráfego de voz e dados, pois os sistemas já existentes eram precários e sem segurança. O Projeto *Mesh* Haiti, utilizou o Veículo Aéreo não Tripulado em missão de paz, com o objetivo de inteligência, modelar e gerenciar softwares para o Batalhão, implantar a telefonia e TV por IP, entre outros objetivos.

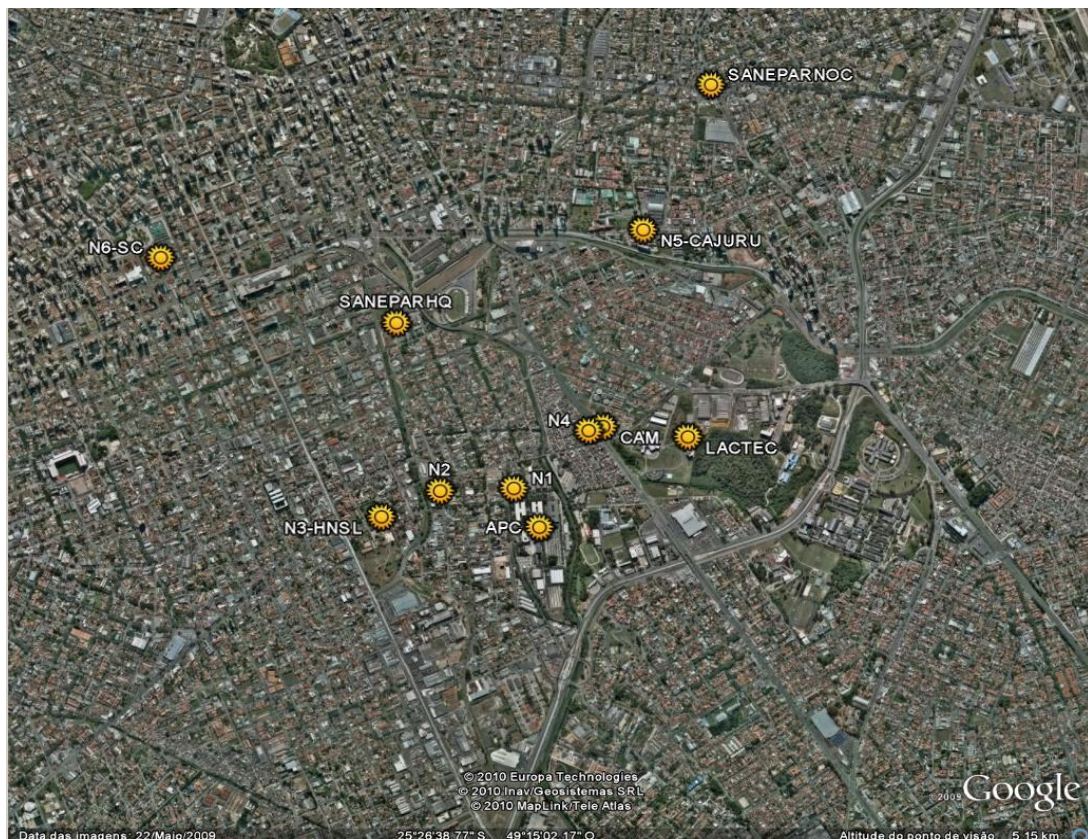
## 4 RESULTADOS DE ESTUDOS DE CASOS DE USO

Dentre os trabalhos citados anteriormente, serão detalhados os casos considerados mais interessantes e relevantes, destacando os principais aspectos da rede utilizada.

### 4.1 PROJETO *MESH* DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ (PUCPR)

Com o objetivo de permitir a democratização do acesso à internet e visando outras soluções e aplicações que podem ser criadas através dessa tecnologia, com algumas parcerias já citadas anteriormente, investiram em tecnologia *Mesh* para distribuição de sinal *WiFi* em áreas abertas do campus da PUCPR.

Na Figura 4.1, pode ser vista a localização aproximada dos nós, sendo que apenas o nó APC possui conexão com a rede cabeada.

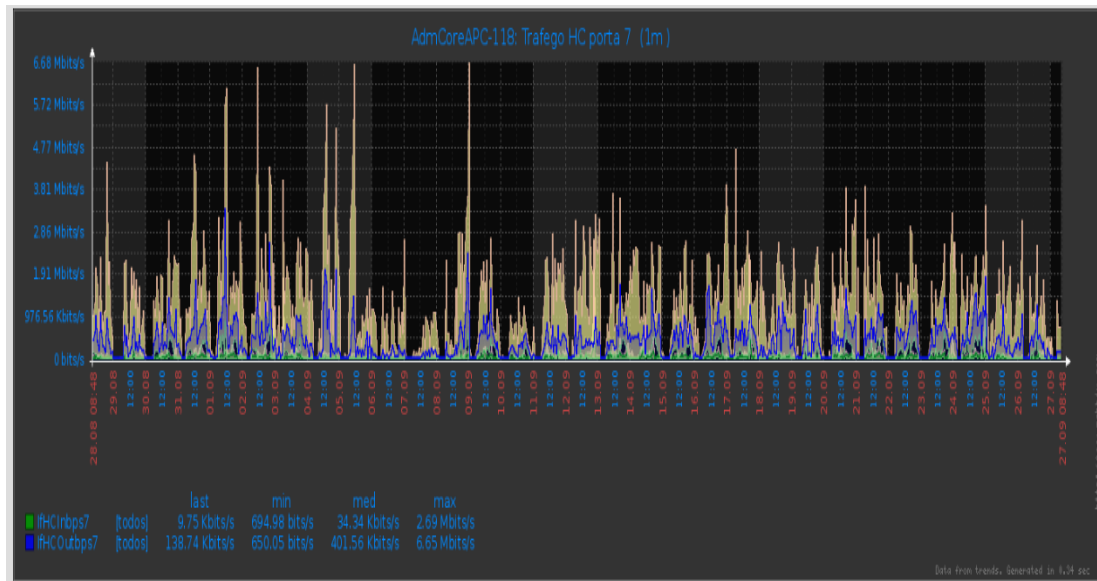


**Figura 4.1: A área de cobertura estimada pelo *backbone* da Rede *Mesh*. Fonte: [20]**

Segundo [20], as seguintes características foram observadas durante a implantação e testes da Rede *Mesh* construída:

- Alcance de, no máximo, 10km para comunicação direcional no backbone, para os ativos que possuem maior alcance;
- O alcance para distribuição *WiFi* (clientes com notebooks) foi equivalente aos pontos de acesso que utilizam a rede cabeada, variando entre 100 e 200 metros;
- Atendeu interconexões de rede com taxa de transferência de até 10 Mbps;
- Atendeu aplicações com taxa de transferência de até 500 Kbps por cliente;
- Aplica-se melhor na distribuição de sinal *WiFi* para locais abertos, pois a conexão com o backbone também é sem fio;
- É uma boa alternativa de conexão para eventos, pois pode rapidamente ser implantada e desmontada, demandando apenas energia elétrica;
- É uma boa alternativa para locais distantes onde, observadas as restrições de largura de banda, não é viável a instalação de fibra ótica, ou wireless direcional;
- Caso exista ampla cobertura de sinal não necessita visada direta para o ponto central da rede, pois encontra o melhor caminho através dos demais nós;
- Possui boa disponibilidade, pois no caso de falha de um nó, os demais se reorganizam para encontrar um novo caminho viável;
- O tempo de resposta pode aumentar dependendo do número de repetidores.
- Existe maior complexidade no planejamento inicial da rede;
- A banda total disponível para a Rede *Mesh* é menor se comparada com o modelo onde o backbone é totalmente cabeado;
- Nem todas as soluções *Mesh* são padronizadas, existindo incompatibilidade entre fabricantes.

A rede encontra-se em pleno funcionamento. Na Figura 4.2 pode ser visto o tráfego de rede no mês de agosto de 2010.



**Figura 4.2: Tráfego de Rede Mesh no mês de agosto de 2010, Projeto PUCPR. Fonte: [20]**

O projeto está em fase de ampliação. Na Figura 4.3 são mostrados os sete novos pontos onde estão sendo instaladas bases adicionais.



**Figura 4.3: Pontos adicionais da Rede, na PUCPR. Fonte: [20].**

## 4.2 PROJETO REMESH

Esse projeto, como citado anteriormente, propõe a implantação de uma rede de acesso do tipo *Mesh* para usuários universitários que residem nas proximidades de suas universidades. Em particular, o projeto se comprometeu a desenvolver e testar o acesso via Rede *Mesh* nas comunidades situadas ao redor dos diversos campi da Universidade Federal Fluminense (UFF). A UFF possui seus campi integrados a diversas comunidades na cidade de Niterói, como se pode ver na Figura 4.4, incluindo os bairros de Icaraí, Boa Viagem, Ingá, Santa Rosa, além do centro de Niterói [21].

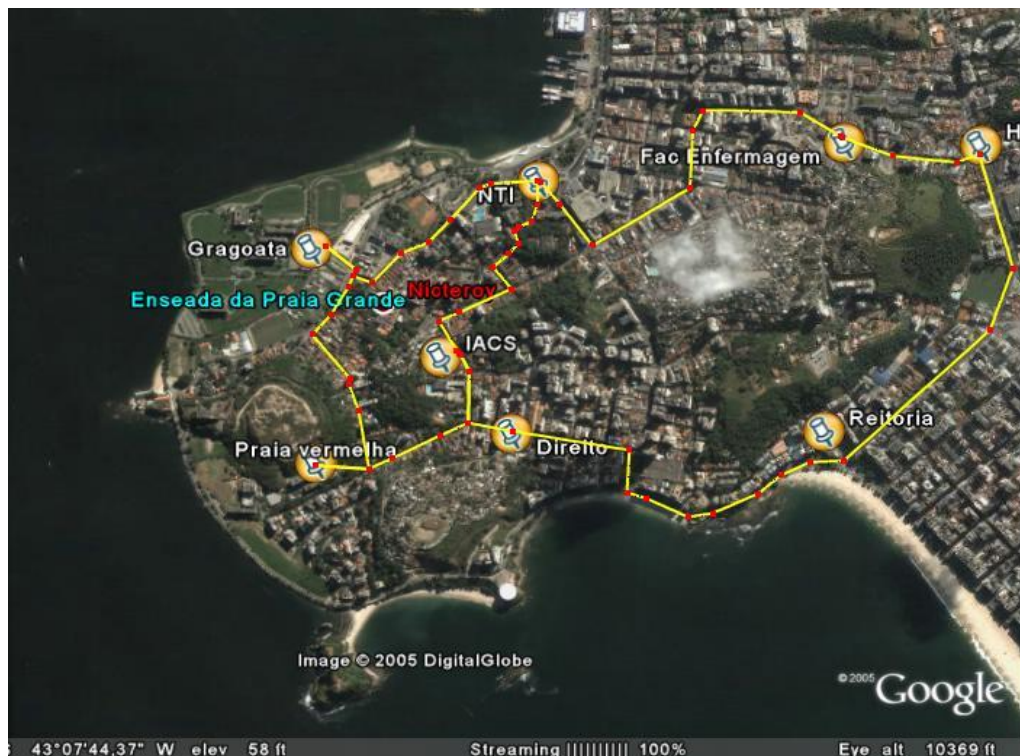
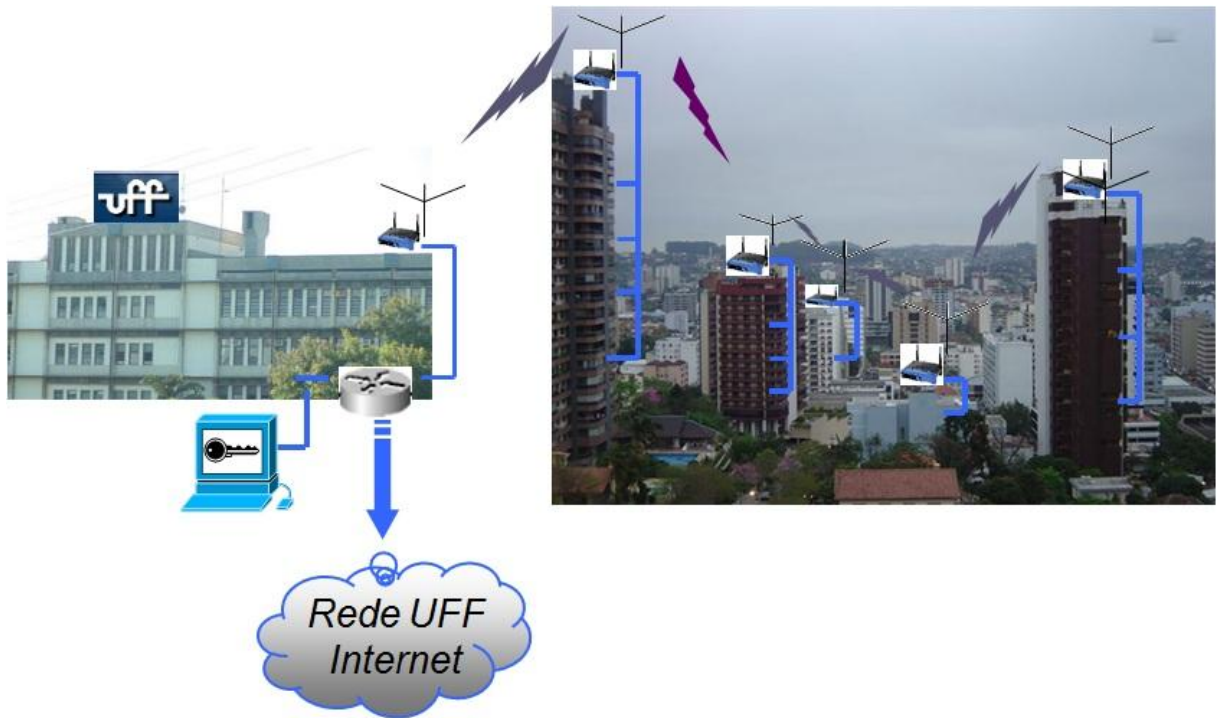


Figura 4.4: Vista parcial da UFF, em Niterói, Rio de Janeiro. Fonte: [21]



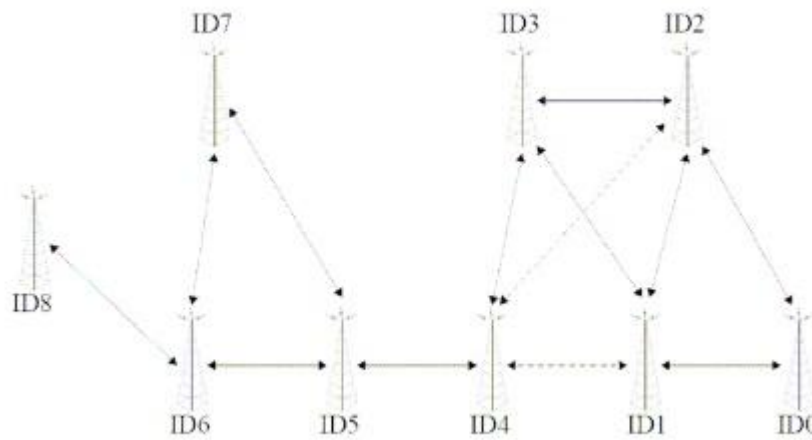
**Figura 4.5: Modelo da Rede *Mesh* do Projeto. Fonte: [21].**

O roteador utilizado é o WRT54G, da Linksys. Além de ponto de acesso, faz o roteamento dos clientes tanto pela interface sem fio como pelas suas cinco portas *ethernet* presentes. A adaptação para transformá-lo em um roteador *Mesh* é feita com a instalação do *firmware* desenvolvido pelo ReMesh, baseado no OpenWRT [21] que é uma distribuição de software livre compacta do sistema operacional Linux que se apresenta flexível o suficiente para a instalação de diversos protocolos de roteamento [18].

A métrica mais comum utilizada para calcular rotas ótimas na maioria dos protocolos de roteamento *ad-hoc* existentes, é a quantidade de saltos mínima. A decisão arbitrária feita pelos algoritmos que minimizam saltos pode não selecionar a melhor rota disponível. A implementação do OLSR utiliza uma métrica que mede a qualidade dos enlaces, chamada ETX (*Expected Transmission Count*). Essa métrica é calculada usando as taxas de recepção de pacotes em ambos os sentidos do enlace, tentando encontrar caminhos com o menor número de transmissões necessárias para entregar um pacote ao seu destino final [18].

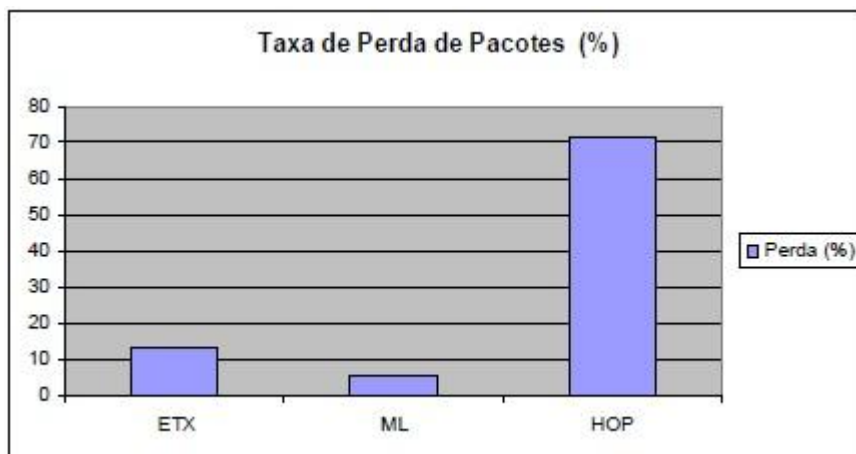
No ambiente interno de teste do projeto ReMesh, foi observado instabilidade nas rotas e altas taxas de perda com o protocolo OLSR usando a extensão ETX original. Isso motivou a necessidade de utilizar uma métrica de roteamento diferente, o OLSR-ML citado

anteriormente, que melhorou o desempenho da rede no cenário ilustrado na Figura 4.6 a seguir.



**Figura 4.6: Ambiente interno de teste do projeto ReMesh. Fonte: [18].**

Considerando transmissões com até 8 saltos, ou seja, entre os nós 0 e 8 da topologia, foram feitas comparações com as métricas ETX, ML (desenvolvida pelo projeto), HOP (número de saltos), usando o protocolo OLSR [18].



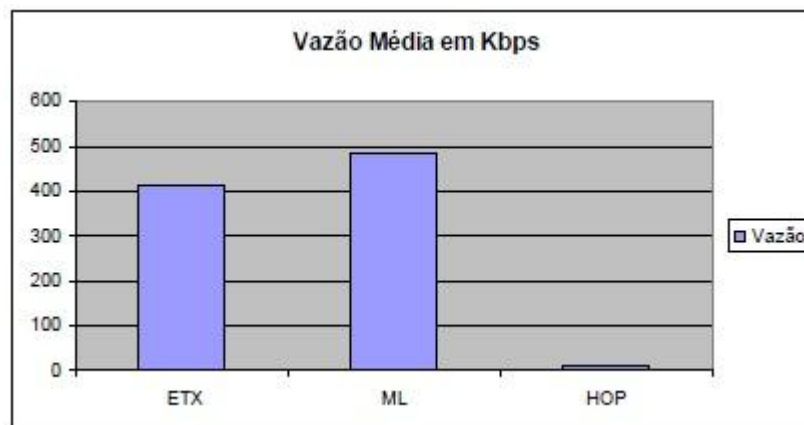
**Figura 4.7: Taxa de perdas de pacote com até 8 saltos. Fonte: [18].**

A análise feita do gráfico da Figura 4.7, percebeu-se que o número de saltos realmente não é adequado como métrica para escolha do melhor caminho em redes sem fio e que a extensão OLSR-ML, desenvolvida pelo ReMesh apresenta a menor taxa de perdas para transmissões com até 8 saltos [18].

A Figura 4.8 a seguir, indica um melhor desempenho em termos de retardo do OLSR-ML, em relação aos demais, mesmo podendo escolher caminhos com mais nós intermediários [18].



**Figura 4.8: Retardos de ida e volta com até 8 saltos. Fonte: [18].**



**Figura 4.9: Vazão média com até 8 saltos. Fonte: [18].**

Analisando a comparação da vazão média feita na Figura 4.9, mostrou-se que a vazão obtida na transmissão entre os nós 0 e 8, o OLSR-ML teve um melhor desempenho, chegando a 484 Kbps com 8 saltos [18].

### 4.3 PROJETO ORLA DIGITAL

Quando entrou em operação, no dia 22 de julho de 2008, o Projeto Orla Digital do Rio de Janeiro trouxe mais do que o charme de proporcionar conexão *WiFi* à beira do mar, ele concretizou um dos projetos pioneiros de Redes *Mesh* de acesso livre e de tão grande porte no País [25].

Atualmente, o Projeto Orla Digital oferece cobertura para acesso à Internet em toda extensão ao longo das orlas de Copacabana e de Ipanema-Leblon [24].

A escolha da tecnologia *Mesh* teve benefícios como total controle sobre a rede e facilidade de expansão. Segundo Enzo Moliterno, diretor de Canais da Motorola, empresa que forneceu os rádios (MotoMesh) para o projeto, não há muitas Redes *Mesh* no mercado brasileiro, elas ainda são experimentais porém trazem vantagens interessantes para os governos. A rede opera em duas frequências: 2,4 GHz, ou seja, padrão *WiFi*, para emissão do sinal que chega ao usuário final e 5,8 GHz frequência reservada para o padrão *WiMax*, para a comunicação entre os próprios rádios [25].

O Projeto Orla Digital se destaca das demais iniciativas *Mesh* em função do seu potencial de abrangência: segundo anunciou o governo do Estado visa atender 100 mil pessoas em um bairro altamente turístico e com grande confluência de pessoas, especialmente nos finais de semana [25].

Para obter acesso à rede sem fio é necessário usar um dispositivo com interface de rede sem fio. Por exemplo, computadores portáteis (notebooks/laptops), de mão (PDAs), ou mesmo celulares e *smartphones* compatíveis com a tecnologia *WiFi*. Os serviços disponíveis dessa rede são acesso à Internet, visualização de vídeos e o acesso a serviços do governo e prefeituras, através de suas respectivas páginas [24].

A Figura 4.10 abaixo apresenta a orla completa de Copacabana e a área correspondente ao projeto. Nesta imagem existem quatro retângulos, os quais correspondem às quatro células *Mesh* em que o projeto está dividido.



Figura 4.10: Orla de Copacabana, Rio de Janeiro. Fonte: [24].

Uma das áreas de cobertura da célula, incluindo a disposição dos rádios, pode ser visto na Figura 4.11 a seguir.



Figura 4.11: Área de cobertura de uma das quatro células do projeto. Fonte: [24].

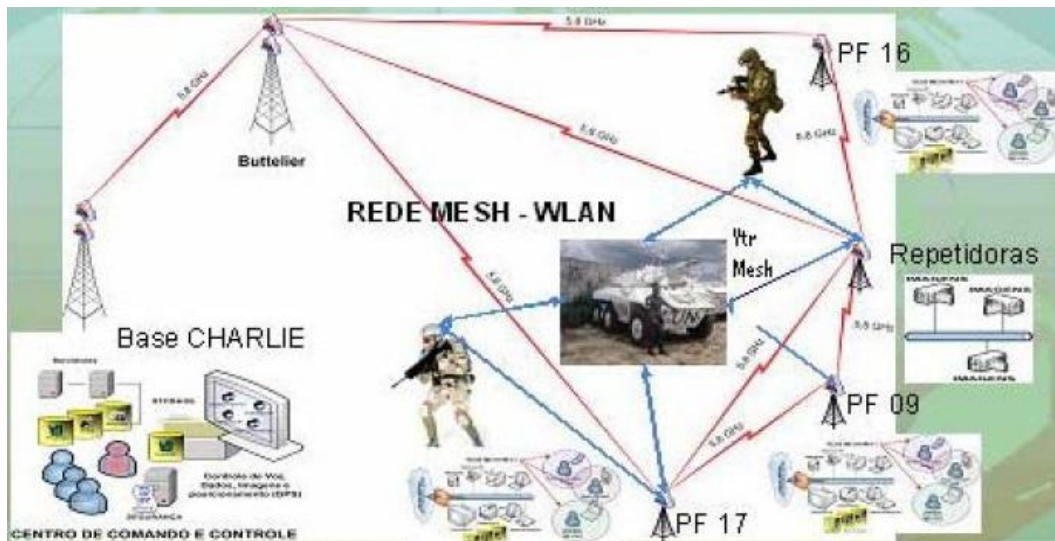


Um exemplo interessante de uso, já comentado pelo professor da Coppe, Luis Felipe Magalhães de Moraes, um dos dois responsáveis técnicos pelo Projeto Orla Digital, é a possibilidade de monitorar batimentos cardíacos dos idosos que caminham na praia de Copacabana. Outro, mais óbvio, é o monitoramento mais abrangente ao longo da Orla, até para garantir as condições de segurança para as pessoas se sentirem confortáveis para utilizar o computador ao ar livre. Segundo Enzo Moliterno, da Motorola, este projeto vai servir como laboratório do que pode ser feito com Redes *Mesh* em locais públicos. Não era sequer possível definir todas as aplicações antes de a rede estar operando. Pode-se fazer muita experiência nela, aprender através dela. Tecnologias com tanto impacto dão espaço para mudanças de hábito, geram reações e podem ter consequências sociais que ainda se desconhece, avalia [24].

#### 4.4 PROJETO MESH HAITI

Segundo [17], o Exército Brasileiro, com o objetivo de testar novas tecnologias, enviou em dezembro de 2006 para o Haiti, objetivando compor o Batalhão, constituído pela força do Centro Oeste (BRABATT06), o Tenente Coronel Lucena, do Centro de Desenvolvimento de Sistemas, na função de Oficial de Informática. Concomitante a sua missão, teve também a incumbência de implantar o Projeto *Mesh* e gerenciar o emprego do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em missão de Paz.

O Projeto da Rede *Mesh* Nodal Multimídia, representado na Figura 4.14, realizado na área metropolitana de Porto Príncipe (Capital do Haiti), usou do VANT de forma Operacional (Missão de Paz) com objetivo de inteligência, analisar requisitos, modelar e gerenciar o desenvolvimento de *software* para o Batalhão, dar suporte ao usuário em *hardware* e periféricos, especificar e gerenciar a implantação, configuração e migração da rede lógica *gigabit* da Base Charlie (Nova Base – Houve mudança de Base do Brabatt 06) e implantar a telefonia e TV por IP [17].



**Figura 4.14: Diagrama de serviços do Projeto *Mesh* Haiti. Fonte: [17]**

Os sistemas existentes antes da implantação da tecnologia *Mesh* eram precários e sem segurança, pois se fazia uso somente de rádios comerciais sem segurança. Os equipamentos comerciais usados só propiciavam transmissão de voz a qual poderia ser rastreada muito facilmente. Quanto à telefonia celular, a vulnerabilidade estava na própria operadora, a qual detinha todos os arquivos de conversação gravados localmente e por não haver um modelo de confiança com a operadora local ficavam vulneráveis quanto ao comando, controle e sigilo das operações [17].

Com a implantação da rede *Mesh* proprietária, os recursos multimídia com segurança foram explorados em sua plenitude. Os Sistemas e recursos tecnológicos implantados no Haiti, Projeto *Mesh* (Sistema Nonal *Mesh* Multimídia), VANTs e softwares desenvolvidos e implantados em ambiente operacional pelo Brabatt6, são operáveis com o Sistema de Comunicações Tático (SisTaC) e Módulo de Telemática, ambos existentes no Brasil [17].

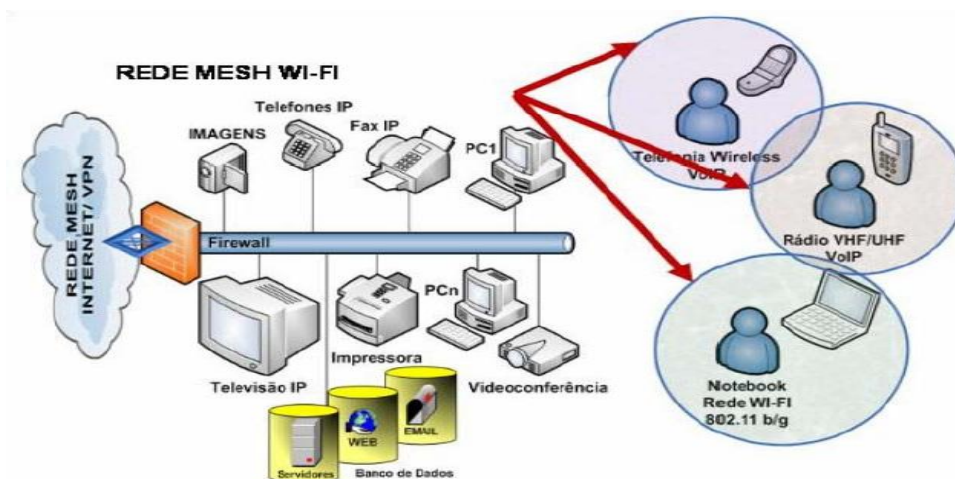
Os motivos que tornam o Haiti o local ideal para a validação da tecnologia, tendo em vista a pior hipótese de emprego, são os seguintes: terreno acidentado e hostil, altas temperaturas durante o ano todo, grande quantidade de chuva, ventos fortes, ocorrência de furacões, tropa em situação de emprego real (o que proporciona a demanda por serviços de voz, dados e imagens que trafeguem pela Rede *Mesh*), escassez de meios, desde infraestrutura de alimentação até disponibilidade de torres [17].

Com a análise da implementação do já referenciado sistema no Haiti, chegou-se a conclusão que, com baixo investimento pode-se usufruir de produtos de alta tecnologia e

com vasto emprego operacional. O ganho tecnológico para o Brasil é de grande importância tendo em vista o possível emprego desse sistema em operações de Paz, regulares, Garantia da Lei e da Ordem (GLO) e aplicação na Administração Pública Federal (APF). O Haiti é somente um laboratório tecnológico experimental, onde o sistema está sendo realizado com êxito [17].

Alguns empecilhos dos meios de comunicação empregados no Haiti como a inexistência de qualquer segurança na comunicação, as conversações pelo celular estão sob total controle da operadora local haitiana, além disso, o custo envolvido na contratação do serviço de telefonia celular é alto e ainda a inexistência de um canal que proporcionasse tráfego de dados e imagens em tempo real também era um problema. Todos esses aspectos negativos foram contornados com a implantação da Rede *Mesh*, com sua respectiva manutenção preventiva e a utilização da segurança dos equipamentos [17].

Mesmo com dificuldades apresentadas, a rede tem mostrado um desempenho muito bom e está sendo utilizada para tráfego de intranet/Internet, IP TV e voz sobre IP, entre as bases. A figura 4.15, ilustra os serviços de rede disponíveis pelo Projeto *Mesh* Hati [17].



**Figura 4.15: Ilustração dos serviços de rede do projeto. Fonte [17].**

#### 4.5 CONCLUSÃO DOS PROJETOS DETALHADOS

Ao realizar um estudo mais detalhado de alguns projetos que utilizam as redes em malha, é possível afirmar que a tecnologia Redes *Mesh* é uma das soluções mais viáveis para alcançar a mobilidade em redes de computadores.

Casos de uso foram analisados em profundidade e através deles destacados os principais motivos da escolha desse tipo de rede, assim como as dificuldades encontradas no desenvolvimento dos projetos.

Para um melhor entendimento das questões envolvidas na criação e manutenção de Redes *Mesh*, decidiu-se analisar com ênfase esses casos de uso específicos que permitiram perceber que a rede em malha foi a solução mais viável para resolver alguns problemas encontrados, em relação às condições dos lugares de implementação da rede e principalmente pelos objetivos buscados por cada projeto, isto é, a busca pela inclusão digital, a facilidade de acesso a internet em lugares abertos, uma maior segurança para tráfego de voz e dados (como no Projeto *Mesh* Haiti), entre outros.

De todo este estudo observou-se que as Redes *Mesh* já são reais, que as tecnologias requeridas já estão disponíveis e que é uma nova tendência, principalmente pela facilidade de implementação física, pelo seu custo reduzido para cobertura de áreas relativamente grandes, pela fácil implantação e principalmente por possuir os pontos *Mesh* sem fio fáceis de instalar ou desinstalar, tornando assim a rede adaptável e expansível, podendo aumentar ou diminuir sua área de cobertura quando necessário.

Algumas desvantagens citadas nos trabalhos referenciados foram a segurança, que sem dúvida é um grande problema não só das Redes *Mesh* (por existir vários pontos de acesso), como em quase todas as áreas da informática e das redes de computadores, juntamente com o problema da largura de banda, por ser o ar o meio de transmissão, os nós utilizam a mesma frequência e com isso surge um problema, pois apenas um nó pode transmitir de cada vez. Com isso, fazendo a análise dos projetos mais relevantes para este trabalho, foi possível perceber que ainda há questões a serem melhoradas nesta área.

Os diferentes materiais encontrados na literatura têm como principal assunto estudos feitos para o aprimoramento dos protocolos de roteamento utilizados nas Redes *Mesh*. Um dos projetos de universidades citados neste trabalho, o Projeto ReMesh, criou o próprio protocolo OLSR-ML onde através de testes ilustrados por gráficos foi mostrado um

melhor desempenho em relação ao outro protocolo, o OLSR, um dos mais utilizados na implementação de redes em malha por algumas vantagens que possuem em relação aos outros protocolos de roteamento existentes.

Com a implantação das Redes *Mesh* em campi universitários e na orla de praias brasileiras, comprova-se a abrangência que se pode ter com essa rede. A interligação de pessoas, serviços e tecnologias é colocada em prática quando se utiliza as Redes em Malha.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram mencionados casos que utilizam Redes *Mesh* como solução, entre eles projetos de pesquisa, soluções comerciais e cidades digitais.

Através desses projetos, foi possível perceber que as redes em malha sem fio, são uma tecnologia inovadora fazendo com que a mobilidade objetivada também em redes de computadores seja possível.

Com o avanço tecnológico e o crescente aumento no mercado das telecomunicações, um dos principais fatores alcançados pelas Redes *Mesh* é a inclusão digital. Os lugares de mais difícil acesso para a implantação de qualquer outra tecnologia, devido à falta de estrutura e as condições que vivem a população é suprida com a implementação de uma rede do tipo *Mesh*. O que se caracteriza uma grande vantagem pra essa rede, pois nos dias de hoje a utilização de computadores e internet está se tornando cada vez mais comum e até mesmo necessária. Com isso posso afirmar que para garantir a conexão em grandes áreas e até mesmo cidades é possível colocar em prática por meio de uma rede *Mesh*.

Este trabalho é de grande utilidade para quem deseja fazer a implementação de uma rede em malha sem fio. Com ele podem ser vistos casos de uso reais, com os problemas e as soluções encontradas no desenrolar do projeto, tornando a implantação da Rede *Mesh* viável e mais simples de ser iniciada.

A principal dúvida quando iniciei a pesquisa deste trabalho, foi porque as Redes *Mesh* não são utilizadas com tanta frequência, sendo que é uma tecnologia inovadora e possui algumas vantagens que se destacam das demais tecnologias já existentes. Então, observando os projetos citados no trabalho, percebeu-se que a área de abrangência dos mesmos é enorme e também além de ser considerada uma rede de baixo custo, por precisar de apenas um ponto de acesso fisicamente ligado a conexão, é utilizada uma quantidade grande de hardware para a implantação da rede, tornando o projeto não tão viável para determinadas situações.

Outro ponto importante a ser destacado é a segurança da rede que precisa ser melhorada para garantir a transmissão de pacotes e o acesso dos usuários de maneira mais segura.

Devido ao porte dos projetos estudados e mencionados, tanto na sua área de abrangência como na quantidade de equipamentos utilizados, a criação de um protótipo de uma Rede *Mesh* para validação prática deste trabalho foi inviável.

Fica como sugestão de continuação deste trabalho, viabilizar a implantação piloto de uma Rede *Mesh* baseada no protocolo OLSR, que se mostrou o mais adequado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PORTAL GESAC, MINISTÉRIOS DAS COMUNICAÇÕES. Disponível em:  
<<http://www.idbrasil.gov.br/>>. Acesso em: 27 de agosto de 2010.
- [2] CISCO. Disponível em: <<http://www.cisco.com>>. Acesso em: 27 de agosto de 2010.  
Disponível em:  
<[http://www.cisco.com/web/BR/microsites/ps/portugues/downloads/CaseTiradentes.p  
df](http://www.cisco.com/web/BR/microsites/ps/portugues/downloads/CaseTiradentes.pdf)>
- [3] RIBEIRO, A. V. F., **Uso de Redes Mesh como Solução para o Canal de Retorno da TV Digital Interativa**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense.
- [4] RIBEIRO, M. M., BOUÇAS, C.de S. **Utilização de Redes Mesh para Visualização de Exames Médicos**. 2007. Monografia. Universidade Federal Fluminense.
- [5] NORTEL. Disponível em: < <http://www.nortel.com/>>. Acesso em: 28 de agosto de 2010.
- [6] TROPOS. Disponível em: <<http://www.tropos.com>>.  
<[http://www.tropos.com/news/pressreleases/2004\\_09\\_28b.html](http://www.tropos.com/news/pressreleases/2004_09_28b.html)>. Acesso em > 8 de agosto de 2010.
- [7] **Redes Sem Fio em Malha**. Revista RTI- Redes, Telecomunicações e Instalações. Maio 2010. Páginas 74-83.
- [8] TSARMPOPOULOS, N., KALAVROS, I., LALIS, S. **A Low-Cost and Simple-to-Deploy Peer-to-Peer Wireless Network based on Open Source Linux Routers**, Proceedings of the 1st International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2005.
- [9] OPENWRT. Disponível em: <<http://openwrt.org/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2010.
- [10] ROOFNET. Disponível em: <<http://pdos.csail.mit.edu/roofnet/doku.php>>. Acesso em: 29 de agosto de 2010.
- [11] MOTOROLA. Disponível em: <<http://www.motorola.com>> . Acesso em: 01 de setembro de 2010.
- [12] Disponível em:  
<[http://www.brasilesperanca.com.br/solucoes/PTB\\_HotZoneBroch\\_screen.pdf](http://www.brasilesperanca.com.br/solucoes/PTB_HotZoneBroch_screen.pdf)>. Acesso em: 01 de setembro de 2010.
- [13] CISCO. Disponível em: <<http://www.cisco.com>>. Acesso em: 01 de setembro de 2010.

- [14] NORTEL. Disponível em: <<http://www.nortel.com>>. Acesso em 01 de setembro de 2010.
- [15] ReMesh. Disponível em: <<http://mesh.ic.uff.br/>>. Acesso em 02 de setembro de 2010.
- [16] MONTEIRO, A. H. M.T. , ABE, H. A., FERREIRA, R. R. **Proposta de Uso de Redes Mesh em Áreas Periféricas**. Dissertação 2007.
- [17] TAVARES, E. de L. **Sistema de Comunicações Operacionais Multimídia Comunicações Móveis (Rede Mesh 802.11s)**. Universidade de Brasília. Monografia 2008.
- [18] SAADE, D. C. M., ALBUQUERQUE, C. V. N., MAGALHÃES L. C. S., PASSOS, D., DUARTE, J., VALLE, R. **Redes em Malha: Solução de Baixo Custo para Popularização do Acesso à Internet no Brasil**. XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBRT 2007. Projeto ReMesh, Disponível em: <<http://mesh.ic.uff.br>>
- [19] VIVENTINI, C. J.A., ARAUJO, R. C. A. de, FONSECA, M. S. P. **Proposta De Uma Métrica de Roteamento Para Redes Wireless Mesh com Tráfego Voip**. XV Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços. XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC 2010.
- [20] PUCPR. Disponível em: < <http://www.pucpr.br/>>. Acesso em 20 de setembro de 2010.
- [21] RNP. Disponível em: <<http://www.rnp.br/>>. Disponível em: <[http://www.rnp.br/\\_arquivo/gt/2005/GT\\_Rede\\_Mesh.pdf](http://www.rnp.br/_arquivo/gt/2005/GT_Rede_Mesh.pdf)>. Acesso em 20 de setembro de 2010.
- [22] BREUEL, C. M. **Redes em Malha Sem Fio**. Instituto de Matemática e Estatística Universidade de São Paulo. 2004.
- [23] TELECO. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>>. Acesso em 23 de setembro de 2010.
- [24] ORLA DIGITAL. Disponível em: <<http://www.orladigital.coppe.ufrj.br/>>. Acesso em 24 de setembro de 2010.
- [25] Disponível em: <<http://www.guiadascidadesdigitais.com.br>>. Acesso em: 24 de setembro de 2010.
- [26] PASSOS, D. **Métricas de Roteamento para Redes em Malha Sem Fio**. Universidade Federal Fluminense. Monografia. 2007.
- [27] BEZERRA, E. A., SILVA, A. C. B. da, HESSEL, F. P., FARIAS, M. M. **Protocolo de Roteamento para Redes Wireless Mesh**. 2008. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.