

**INSTITUTO DE ENSINO SUPERIOR DO ESPÍRITO SANTO  
FACULDADE DO ESPÍRITO SANTO – MULTIVIX CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM  
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**RODRIGO JUNIOR MARTINS DE BACKER  
RONAN VALES FIDELIS**

**REDES MESH: UMA POSSIVEL ALTERNATIVA PARA AUTOMAÇÃO  
RESIDENCIAL**

**CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM  
2014**

**RODRIGO JUNIOR MARTINS DE BACKER  
RONAN VALES FIDELIS**

**REDE MESH: UMA POSSIVEL ALTERNATIVA PARA AUTOMAÇÃO  
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Sistemas de Informação na Faculdade do Espírito Santo – Multivix Cachoeiro de Itapemirim, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de informação.

Orientador: Prof. ESP. Marcelo Costalonga

**CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM  
2014**

**RODRIGO JUNIOR MARTINS DE BACKER  
RONAN VALES FIDELIS**

**REDE MESH: UMA POSSIVEL ALTERNATIVA PARA AUTOMAÇÃO  
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Sistemas de Informação na Faculdade do Espírito Santo - Multivix Cachoeiro de Itapemirim, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de informação.

Aprovado em 2 de dezembro de 2014.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Esp. Marcelo Costalonga

---

Prof. Esp. Cleziel Frazoni da Costa

---

Prof. Esp. Calos José Souza Ferreira

A Deus  
Aos nossos pais e amigos

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, onde compreendemos a sua existência de uma força maior... Sabemos que essa força nos ajudou a seguir por esse caminho que chegou até o fim. Sabemos também que será essa mesma força que nós faremos seguir em frente por qualquer caminho. Aos nossos pais, que tanto confiaram em nossos passos, dando-nos créditos para acertarmos e errarmos, vocês que souberam acolhermos quando a tarefa se mostrava árdua, impulsionando-nos a superar obstáculos comemorando com o mesmo entusiasmo cada um de nossas tentativas e cada conquista. Aos nossos professores que nos orientaram por esse caminho, dando-nos a condição de uma visão crítica, para que não tropeçássemos na obscuridade da ignorância. Nessa hora não podemos esquecer dos nossos amigos que nos apoiaram e que estavam junto conosco durante todos esses quatro anos.

*“Cada sonho que você deixa pra trás, é um pouco do seu futuro que deixa de existir”*  
Steve Jobs

BACKER, Rodrigo Junior Martins de; FIDELIS, Ronan Vales. **Redes Mesh: uma possível alternativa.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Faculdade do Espírito Santo - Multivix Cachoeiro de Itapemirim, Cachoeiro de Itapemirim, 2014.

## RESUMO

Atualmente é comum ver muitas pessoas acessando alguma rede sem fio, quer seja através de aparelhos como celulares, notebooks, tablets, ou outro dispositivo móvel qualquer. Tudo isso graças a uma tecnologia conhecida como “*Wireless*”, sendo tratada em uma forma mais reduzida: “*wifi*”. Esta tecnologia faz uso do protocolo 802.11 (padrão em toda rede sem fio). Geralmente, as redes *wifi* possuem uma característica similar de conexão, isto é, de uma rede sem fio estruturada, pois para que um dispositivo possa se comunicar com outros dispositivos e também com a rede externa é preciso passar primeiro pela estação principal, onde é efetuada a autenticação e validação do usuário. Só que para as redes ad hoc e as redes mesh, esta característica não se aplica com este mesmo conceito, pois elas independem do ponto de acesso centralizado para que haja a conexão dos dispositivos. Eles se conectam entre si, ou seja, todos os dispositivos que estão naquela rede distribuem serviços e se comunicam mutuamente, de forma direta, sem a necessidade de uma estação principal. As redes mesh possuem uma topologia totalmente dinâmica, que dizer, ela se auto organiza quando algum dispositivo (nó) deixa de responder, seja por mau funcionamento ou por ter saído do alcance da rede sem fio. Esse trabalho tem como objetivo realizar uma comparação entre rede mesh outros tipos de redes, como a sem fio infra estruturada ou *ad-hoc*, mostrando os pontos positivos e negativos de cada uma. Evidenciar as possíveis aplicações desse tipo de rede, já que muitas pessoas e empresas, desconhecem sua existência e, tampouco seus benefícios, onde se destaca, principalmente, que pode ser uma solução bastante viável para um problema comum em muitas residências, corporações e até mesmo cidades.

**Palavra-chave:** redes mesh, wireless-mesh, redes em malha, padrão IEEE 802.11s.

BACKER, Rodrigo Junior Martins de; FIDELIS, Ronan Vales. **Redes Mesh: uma possível alternativa.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Faculdade do Espírito Santo - Multivix Cachoeiro de Itapemirim, Cachoeiro de Itapemirim, 2014.

## ABSTRACT

Nowadays it is common to see many people accessing *wireless* network, whether through devices like phones, notebooks, tablets, or any other mobile device. All this thanks to a technology known as "*Wireless*" and being treated in a reduced form: "Wi-Fi". This technology makes use of 802.11 (standard throughout the *wireless* network). Generally, Wi-Fi networks have a similar characteristic of connection, that is, without a network structured wire, because for a device to communicate with other devices and also to the outside network is first necessary to pass the main station, called point access. Where is effected the authentication and user validation. Except for ad hoc networks and mesh networks, this feature does not apply to this same concept, because they are independent of centralized access point for connecting devices. They connect with each other, this is, all devices that are on this network are routing services and mutually communicating, directly, without the need for a major station. Mesh networks have a fully dynamic topology, that is, it organizes itself when a device (node) fails to communicate either, by malfunction or have moved out of range of the *wireless* network. This paper aims to make a comparison between mesh network and other types of networks, such as wireless infrastructure or ad-hoc, showing the strengths and weaknesses of each of them. Demonstrate the possible applications of this type of network, since many people and companies, unaware of its existence, nor its benefits, which stands out mainly, that can be a very viable solution to a common problem in many homes, businesses and even cities.

**Key-words:** mesh networks, wireless-mesh, mesh networks, IEEE 802.11s.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

**AODV** – Ad Hoc On-Demand Distance Vector

**GT** – Gateway

**IEEE** – Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

**IP** – Internet Protocol (Protocolo de Internet)

**ISO** – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

**MBSS** – Mesh Basic Service Set (Conjunto básico de serviços)

**MP** – Mesh Point (Ponto Mesh)

**MPA** – Mesh Access Point (Ponto de acesso Mesh)

**MPP** – Mesh Portal Point (Ponto de passagem da rede Mesh)

**OLSR** – Optimized Link State routing (Roteamento de conexão otimizada)

**OSI** – Open Systems Interconnection (Interconexão de Sistemas Abertos)

**PERR** – Patch Error (Caminho de erro)

**PREP** – Path Reply (Resposta de caminho)

**PREQ** – Path Request (Requisição de caminho)

**RANN** – Root Announcement (Anuncio de nó da Raiz)

**RREQ** – Route Request (Requisição de Rota)

**STA** – Station (Estação)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas do modelo OSI .....	14
Figura 2 – Topologia geral de uma infraestrutura.....	17
Figura 3 – Topologia geral de uma rede ad-hoc.....	19
Figura 4 – Como é uma topologia em uma rede mesh .....	23
Figura 5 – Roteamento sob demanda .....	25
Figura 6 – Protocolo de roteamento pro ativo .....	27
Figura 7 – Representação de uma rede mesh no cenário doméstico .....	28
Figura 8 – Representação de uma rede mesh no cenário empresarial.....	29
Figura 9 – Representação de uma rede mesh no cenário metropolitano .....	30
Figura 10 – Representação da rede mesh em segurança pública .....	32
Figura 11 – Diagrama geral de conexão do NAVEGAPARÁ.....	35
Figura 12 – Equipamento ZigBee modelo U-BEE .....	41
Figura 13 – Diagrama de pinos do U-Bee .....	42
Figura 14 – Download do aplicativo para atualizar o software .....	44
Figura 15 – Serial Bootloader.....	44
Figura 16 – Configurações para atualizar o firmware do modelo U-Bee .....	45
Figura 17 – Instruções a serem executadas .....	46
Figura 18 – Instruções para gravar no dispositivo.....	46

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	11
1 REDES DE COMPUTADORES .....	13
1.1 Camadas do modelo OSI .....	13
2 PADRÃO IEEE 802.11 .....	15
2.1 Infraestrutura .....	17
2.2 Redes Ad-Hoc.....	18
3 REDES MESH.....	21
3.1 Topologia.....	21
3.2 Protocolos de roteamentos.....	23
3.2.1 Roteamento sob demanda .....	24
3.2.2 Roteamento proativo .....	26
3.3 Cenário e aplicações da Rede Mesh.....	27
3.3.1 Cenário doméstico .....	28
3.3.2 Cenário empresarial .....	29
3.3.3 Cenário metropolitano .....	30
3.3.4 Segurança pública e privada .....	32
4 ESTUDO DE CASO .....	33
4.1 Projeto Navegapará .....	33
4.1.1 Cidades digitais .....	34
4.1.2 Infocentros.....	35
4.1.3 Pontos de acesso à internet .....	36
4.2 Inclusão digital na cidade de Tiradentes – Minas Gerais .....	36
4.2.1 Desafios da implantação .....	37
4.2.2 Possível Solução.....	37
4.2.3 Equipamentos utilizados.....	38
4.2.4 Solução da Cisco utilizada para se criar a rede mesh.....	38
5 APLICANDO REDES MESH: UM CASO PRATICO .....	40

5.1 O que é ZigBee? .....	40
5.2 Características do modelo U-Bee.....	41
5.3 Firmware .....	43
5.4 Configurando e ligando com os módulos U-Bee .....	47
5.4.1 Configurações necessárias .....	47
6 CONCLUSÃO.....	50
7 REFERÊNCIAS .....	52

## INTRODUÇÃO

Com a popularização dos equipamentos de rede e informática em geral, afirma Torres (2001), praticamente todos os ambientes de trabalho, por menor que seja, utiliza algum tipo de conexão em rede. Seja para troca de arquivos, compartilhamento do acesso à Internet, ou mesmo de algum dispositivo de hardware, como impressora. Porém essa comunicação, que ocorria exclusivamente por cabos, tinha alcance limitado.

Como solução para a limitação do alcance através de cabos, o físico italiano Guglielmo Marconi, que em 1901 apresentou pela primeira vez que era possível fazer uma comunicação sem fio, demonstrou como funcionava um telégrafo sem fio, no qual, transmitia informações de um navio para o litoral por meio do código Morse, em rádio frequência (TANENBAUM, 2006). Com os avanços das tecnologias e modernos equipamentos, o desempenho e a eficiência da solução proposta por Marconi vêm sendo melhorados, porém a ideia é basicamente a mesma (TANENBAUM, 2003).

A partir da disseminação e uso da tecnologia das redes sem fio em maior escala, fez-se necessária à busca por uma padronização para torna-las um padrão universal (TANENBAUM, 2001). O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) decidiu iniciar uma pesquisa para padronizar todas as comunicações de redes sem fio e, já em 1997, depois de sete anos de estudos, foi lançada a primeira versão do padrão 802.11, o qual especificava que a frequência de radiofrequência a ser usada nas transmissões deveria ser entre 2,4 GHz a 2.4835 GHz, e sua taxa de transmissão estabelecida entre 1 e 2 Mb/s, além de outras características. Esse padrão ficou conhecido como 802.11-1997 (ALECRIM, 2013).

Esse trabalho tem como objetivo geral comparar a rede mesh com os outros tipos de redes, como a sem fio infra estruturada ou uma rede cabeada, mostrando os pontos positivos e negativos da rede mesh. Pretende-se, também evidenciar as possíveis aplicações desse tipo de rede, já que muitas pessoas, e até mesmo empresas, desconhecem sua existência e, tampouco seus benefícios, onde se destaca,

principalmente, que pode ser uma solução bastante viável para um problema comum em muitas residências, corporações e até mesmo cidades.

Esse trabalho tem como justificativa abordar para a sociedade, tanto profissionais da área de tecnologia de informação, quanto pessoas com pouco conhecimento na área, uma forma de comunicação sem fio de baixo custo, e robusta. Podendo ser aplicada desde grandes regiões metropolitanas, até a interligação de dispositivos de uma "casa inteligente".

Foram adotadas diversas metodologias. A revisão literária, tirada principalmente de livros e artigos publicados na internet, descreve a história das redes de computadores até as modernas tecnologias de rede sem fio. Foram retiradas de páginas na internet as informações utilizadas nos estudos de caso que apresentam aplicações as de redes mesh.

Está dividido em sete capítulos, onde no capítulo um é explicado o que é uma rede de computadores e uma explicação de forma sucinta do que é a camada OSI. No capítulo dois é apresentado as redes sem fio e o padrão utilizado, no caso o padrão IEEE 802.11, e as principais estruturas das redes sem fio, como a infra estruturada e a rede ad hoc. No capítulo três, aborda-se o que é uma rede mesh, assim como seus benefícios, sua topologia, os protocolos utilizados, e onde essa rede pode ser utilizada.

No quarto capítulo apresenta-se dois estudos de caso, o projeto NAVEGAPARÁ – que trata-se de um projeto que interliga várias cidades do norte do país, com o objetivo de levar a inclusão social através da internet - e o de inclusão digital no estado de Minas Gerais – que é um projeto que tem como objetivo levar a inclusão digital para o estado de Minas Gerais.

No capítulo cinco é abordado um tutorial de como é fácil e simples realizar uma configuração da placa ZigBee para se realizar uma comunicação utilizando o conceito de rede mesh. No capítulo seis é abordado algumas das conclusões, como: robustez e praticidade, porém pouco segura, e o capítulo sete trás as referências que utilizadas para realização desse trabalho.

## 1 REDES DE COMPUTADORES

Como o uso de conexão em rede de computadores se tornou indispensável nas organizações, devido à facilidade de compartilhamento de recursos de informática, muitas começaram a desenvolver suas próprias tecnologias. Porém quando a interconexão entre as diferentes tecnologias de rede se tornou necessária, esta não mais era possível (BARRETT; KING, 2010).

Por isso, segundo Barrett e King (2010), a Organização Internacional para Padronização (*International for Organization for Standardization - ISO*) desenvolveu um padrão de arquitetura que permitia que equipamentos feitos por diferentes fabricantes pudessem se comunicar. Esse padrão é chamado de modelo de referência de Interconexão de Sistemas Abertos (*Open System Interconnection - OSI*). Ainda segundo Barrett e King (2010), “Essa arquitetura determina como hardware, software, topologias e protocolos existem e operam em uma rede”.

### 1.1 Camadas do Modelo OSI

Barrett e King (2010) explicam que a arquitetura do modelo OSI se baseia na ideia de que a comunicação entre as duas extremidades da rede pode ser dividida em camadas, onde cada camada adiciona seu próprio conjunto de funções especiais. Quando dois computadores se comunicam em uma rede, haverá um fluxo de dados que descerá camada por camada do computador origem, e quando esse fluxo for recebido pelo computador destino haverá um caminho inverso nos níveis, até que as informações cheguem à camada de aplicação.

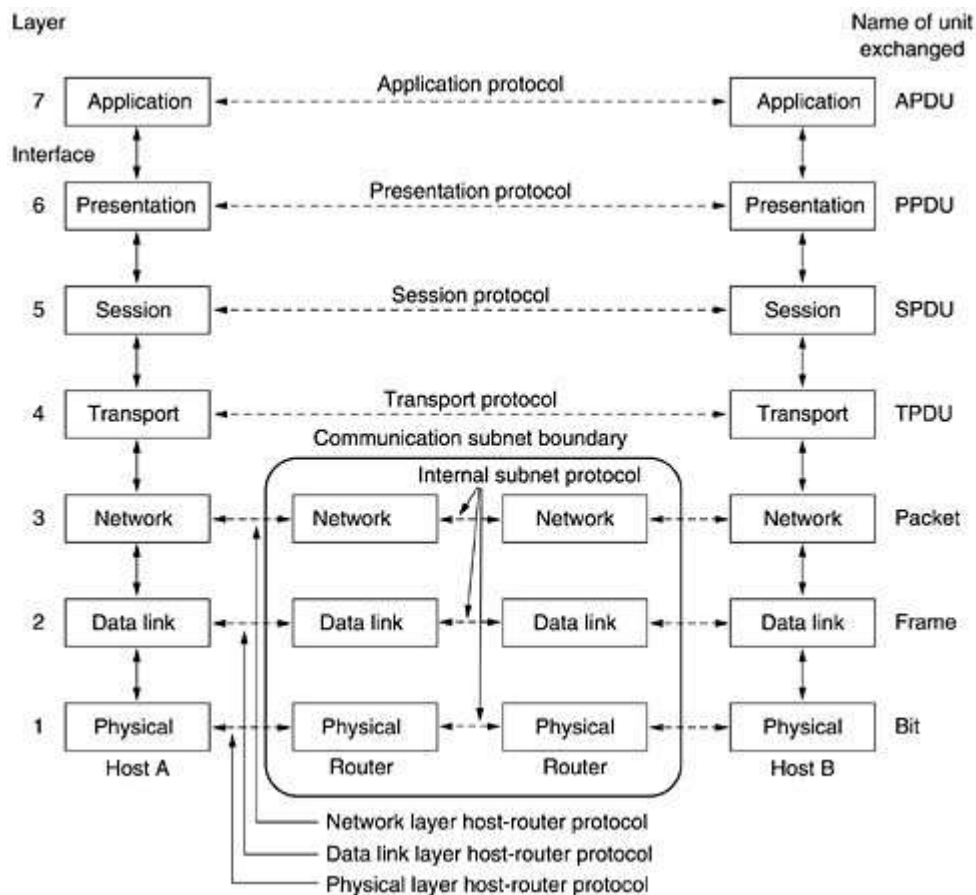
Torres descreve as sete camadas do modelo OSI como:

- Aplicação – Permite que o usuário interaja com o modelo por meio de softwares, como navegadores, correio eletrônico e gerenciadores de rede.
- Apresentação – Converte os dados do usuário para que seja transmitidos pelas camadas subsequentes de forma mais eficiente e segura. Exemplos são, criptografia e compressão.
- Sessão – Estabelece um canal de comunicação entre aplicações.

- Transporte – Segmenta e remonta os dados, e trata da correção de alguns erros.
- Rede – Verifica o endereço da camada de rede do destino no cabeçalho.
- Link de Dados/Enlace – Gerencia a transmissão confiável de rede, tratando erros de comunicação e fluxo.
- Física – São os equipamento de rede, tais como switch, placas de rede.

A figura 1 demonstra as camadas do modelo OSI, especificando como as camadas de redes se relacionam. Quando as informações são transmitidas, essas saem da camada 7 do dispositivo de origem, passando camada por camada até a Física, que é a 1. Quando são recebidas essas informações fazem o caminho inverso, até a camada de Aplicação.

Figura 1 – Camadas do modelo OSI



Fonte: Tanenbaum, 2004



## 2 PADRÃO IEEE 802.11

Segundo Tanenbaum (2006) com o surgimento dos notebooks e a praticidade das redes sem fio, começaram a surgir vários equipamentos, porém todos com especificações diferentes. Com isso o Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) decidiu criar um padrão para os equipamentos das redes sem fio que foi denominada como 802.11, mais conhecida como padrão IEEE 802.11.

A padronização das redes sem fio possibilitou uma maior economia tanto para as empresas quanto para o usuário doméstico, pois tanto os ativos de rede (switches, roteadores, placas de rede e adaptadores), quanto produtos que utilizam redes sem fio possuem um padrão de fábrica, com isso torna-se possível os dispositivos se comunicarem com um menor custo de implementação da rede.

O padrão IEEE 802.11 especifica como as camadas físicas e como a estrutura de uma rede sem fio deve funcionar, ou seja, é o padrão que determina como e quais serão as características das redes sem fio. Evidenciando os quesitos de segurança, desempenho e de qualidade. O 802.11 trabalha em conjunto com as outras variações do 802, como o 802.2.

De acordo com Bauer (2012) as redes sem fio possuem muitas vantagens, tais como, mobilidade dos usuários dentro da área de cobertura - o usuário pode se mover por dentro da área de cobertura da rede sem perder a conexão -, facilidade de implantação das redes - pois não há necessidade de instalação de cabos - e sua topologia pode ser mudada para atender às necessidades dos usuários.

Porém possuem desvantagens, tais como: 1) atender aos requisitos de qualidade, pelo fato de se propagar através de ondas de rádio, que podem haver interferências em seu sinal e com isso a queda de qualidade. 2) a segurança, possibilidade de falar de confiabilidade, por haver o risco de que algum dispositivo opere como “espião”, observando pacotes de dados dentro do espectro do *access point* (ponto de acesso).

Desde a criação do padrão IEEE 802.11 praticamente nada foi alterado, porém surgiram aperfeiçoamentos da camada física, e com isso foram criados as chamadas emendas (IEEE 802.11 a, b, g, n, s) que ampliam a área de cobertura e sua capacidade de troca de dados. Nesse trabalho iremos tratar especificamente sobre a emenda IEEE 802.11s, no capítulo 4.

O quadro 1 mostra as diferenças entre as principais emendas dos padrões da família IEEE. Os dados desta tabela foram extraídos de Saade, Gomes, et al (2008).

Quadro 1: Diferença entre as principais emendas

<b>Emendas</b>	<b>Descrição</b>
802.11a	Permite obter um elevado débito (54 Mbps teórico, 30 Mbps real), ou seja, permite que a rede possua uma alta taxa de transmissão de dados. A norma 802.11a especifica 8 canais rádios na banda de frequência dos 5 GHz.
802.11b	É atualmente a norma mais usada. Propõe um débito teórico de 11 Mbps (6 Mbps real) com um alcance que pode ir até 300 metros num espaço aberto. O intervalo de frequência utilizado é a banda dos 2.4 GHz, com 3 canais rádios disponíveis.
802.11g	Oferece um elevado débito (54 Mbps teórico, 30 Mbps real) na banda de frequência dos 2.4 GHz. A norma 802.11g tem uma compatibilidade ascendente com a norma 802.11b, o que significa que materiais conformes à norma 802.11g podem funcionar em 802.11b
802.11n	802.11n pode alcançar taxas de transferência de até 600 megabits por segundo (Mbps), contudo, os fabricantes produzem equipamentos que trabalham que operam a, no máximo, 450 Mbps.
802.11s	Atualmente em expansão, é utilizado nas redes mesh.

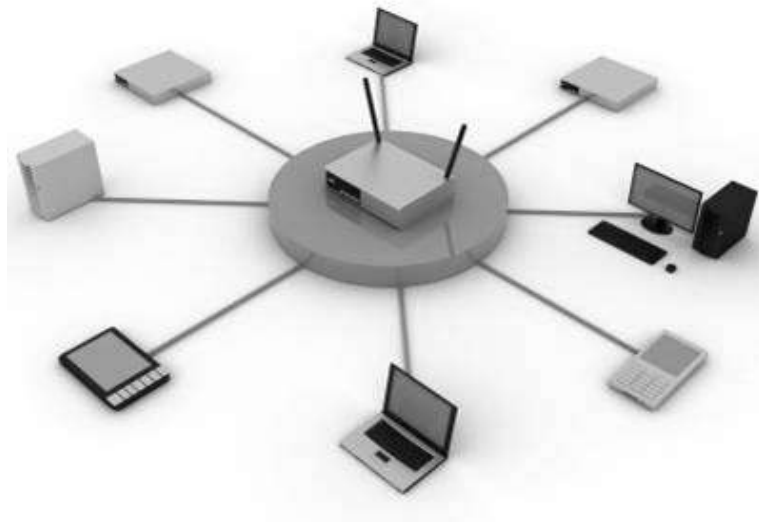
Fonte: Saade, Gomes, et al (2008).

Existem três tipos de topologia para o padrão IEEE 802.11, são elas: as redes infraestrutura, as redes ad hoc e as redes mesh. A principal diferença entre as emendas são as frequências com que são transmitidos os dados dentro de uma rede. O padrão IEEE 802.11s é especificamente para a redes mesh, pois esse tipo de rede trabalha com uma topologia diferente das demais.

## 2.1 Infraestrutura

A rede de infraestrutura é muito utilizada como forma de se instalar redes sem fio nas organizações. Essa rede é composta basicamente de uma ou mais estações que distribui sinal, e vários dispositivos conectados a ele.

Figura 2-Topologia geral de uma infraestrutura



Fonte: H2G Tecnologia, 2012

Para que a comunicação ocorra entre a rede interna e externa, toda a comunicação deve passar pela estação, causando assim uma centralização na comunicação, ou seja, se um dispositivo quiser comunicar-se com outro dispositivo, que está na rede interna ou até mesmo externa, deve passar pela estação. Como mostra a figura 2.

A figura 2 mostra vários dispositivos se conectando a uma única estação, com isso faz com que toda a informação passe por ele, causando alguns problemas, como por exemplo, se por algum motivo a estação apresentar alguma falha, toda a rede fica comprometida, e com isso deixa de existir comunicação entre os dispositivos e até mesmo com a rede externa.

## **2.2 Rede Ad-Hoc**

Apesar dessa rede existir há pouco tempo, o seu conceito surgiu na década de 1970, quando um grupo de estudiosos começou a pensar em uma rede que pudesse servir para fins de estratégia militar. Ou seja, uma forma de comunicação sem fio que não precisasse de uma única estação de comunicação (KOTVISKI, 2009).

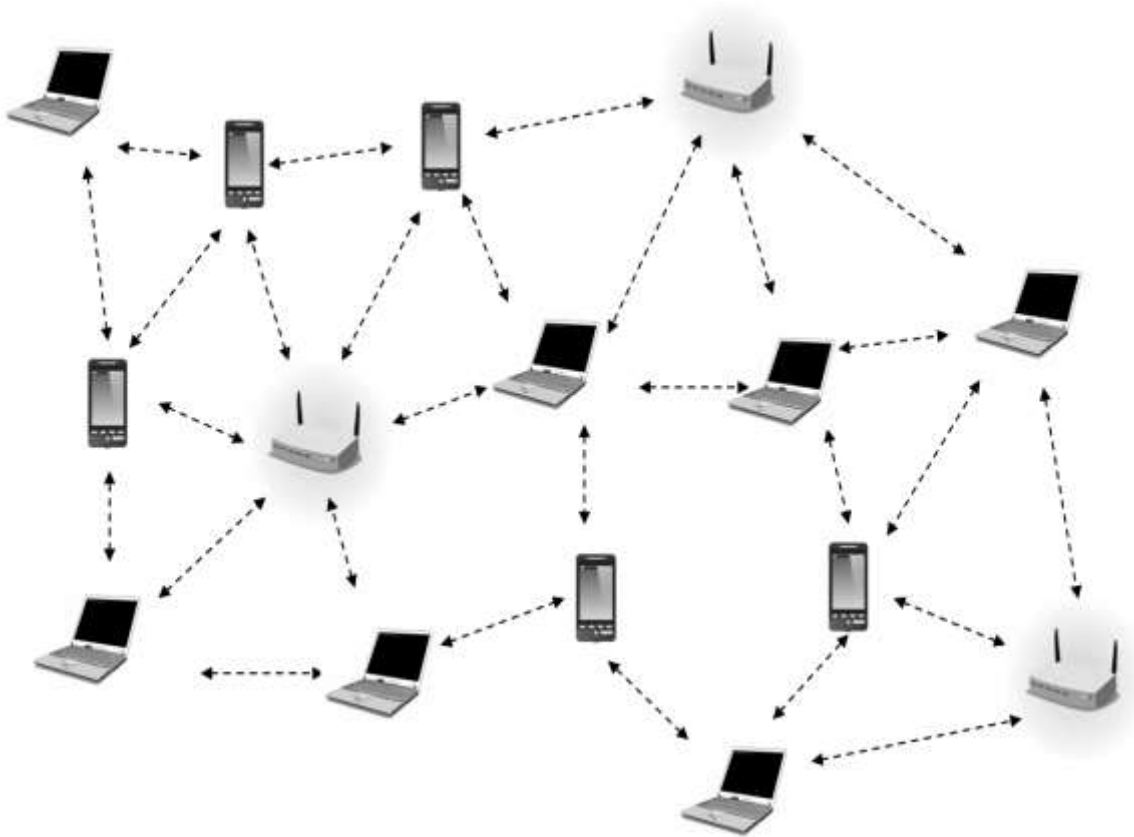
A rede ad-hoc é um tipo de rede mesh, composta de dispositivos que estão conectados entre si. Explicando de uma forma mais simplificada, os dispositivos móveis funcionam como um “repetidor”, ou seja, ele recebe o sinal, o usa e passa para os próximos dispositivos que estão em sua volta (BAUER, 2012).

Esses dispositivos podem ser celulares, notebooks, tablets, todo tipo de dispositivo que entre outros que possuem um adaptador wi-fi. Com isso permite com que haja uma maior flexibilidade na comunicação entre os dispositivos, ao contrário das redes convencionais (infraestrutura).

Uma das características dessa rede é a sua topologia dinâmica que permite que todos os nós (dispositivos), se movam livremente, que a própria rede se adapte a ela, dando a essa rede menor perda de comunicação, caso algum nó tende a apresentar defeitos e perca a comunicação (KOTVISKI, 2009).

A figura 3 representa uma topologia de uma rede ad-hoc, onde todos os dispositivos estão conectados entre si, sem que haja um ponto centralizado, como ocorre na infraestrutura.

Figura 3- Topologia geral de uma rede ad-hoc



Fonte: LifeNet, 2011

A rede ad-hoc funciona da seguinte forma, para que os dispositivos se comuniquem, eles realizam uma comunicação em múltiplos, ou seja, a comunicação passa pelos dispositivos próximos até chegar ao destinatário, como ocorre no IEEE 802.11s (BAUER, 2012).

As vantagens que essa rede ad-hoc traz é que qualquer dispositivo pode ser um ponto de acesso, com isso, ela se torna muito mais fácil e rápido de se montar, além de a um custo relativamente baixo. Outra vantagem é que o seu alcance é muito maior do que uma rede infraestruturada (KOTVISKI, 2009).

Para que os dispositivos possam se comunicar, existem algoritmos de roteamento para redes ad-hoc (XAUD, 2009). São eles:

- **AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*):** Esse protocolo é utilizado para manter a rede ad-hoc em funcionamento, ou seja, é responsável por manter a tabela de roteamento sempre atualizada ou para a descoberta de novas rotas. Para que isso aconteça, sempre que necessário que a rede precise descobrir novas rotas ou a atualização desta, a estação de origem envia em modo de broadcast um “pacote de requerimento de rota” para os seus vizinhos. Quando o pacote chega ao destinatário desejado o mesmo envia para a estação que havia enviado o pacote.
- **OLSR (*Optimized Link State Routing*):** É usado para evitar uma redundância de informações. Esse protocolo se baseia no estado de enlace.

### 3 REDE MESH (IEEE 802.11S)

Segundo Bauer (2012) o protocolo IEEE 802.11s foi financiado pelos militares dos Estados Unidos (EUA) com a necessidade de se comunicarem com os soldados, sem precisarem de uma base de comunicação centralizada para fins estratégicos, pois se os inimigos destruíssem a base de comunicação, os militares não poderiam se comunicar entre si e com isso não conseguiriam chamar reforços se precisarem.

De acordo Teixeira (2004) a ideia era fazer uma rede que se auto organizasse e que toda a comunicação não passasse em um único ponto. Foi então que se criou o padrão 802.11s que tem como principal aplicação a rede mesh.

Normalmente, em uma rede infraestruturada sem fio, todos os roteadores são conectados em um ponto com acesso à Internet, que para se comunicarem entre si precisam de um nó central. A ideia das redes mesh é bem simples, todos os roteadores se comunicando e distribuem acesso à Internet sem a necessidade deles de haver um nó central na comunicação, ou seja, nas redes mesh os roteadores se comunicam e trocam informações entre si formando assim uma malha, por isso o nome de rede mesh.

#### 3.1 Topologia

As redes mesh são constituídas por estações, também chamadas de nós, na qual são totalmente autônomas que tem a função semelhante a um roteador. Os nós podem se comunicar de forma direta ou indireta, a partir de múltiplos saltos, ou seja, para que as estações transmitam uma informação, é preciso passar pelos nós vizinhos até chegar ao destinatário.

Para que a rede mesh pudesse funcionar de acordo com as necessidades foi preciso adicionar novos elementos ao padrão IEEE 802.11, assim a rede mesh passou a possuir os seguintes elementos:

- **Station (STA):** É um nó que recebe serviços, mas não repassa os dados, e não tem a função de descoberta de outros nós.

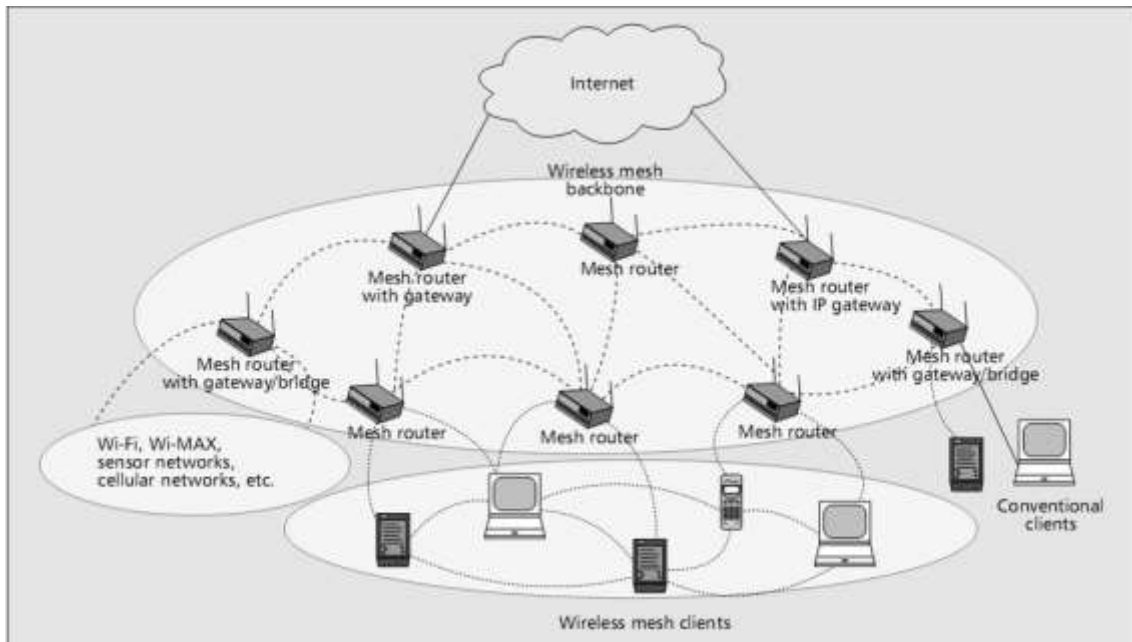
- **Mesh Point (MP):** É um nó que tem a funcionalidade de descobrir outros nós na rede, e no repasse de dados.
- **Mesh Access Point (MPA):** É agregado a um MP a um ponto de acesso que provê um serviço a um STA (cliente).
- **Mesh Portal Point (MPP):** É um MP que tem a função de atuar como gateway, para possibilitar uma comunicação entre a rede mesh e uma rede externa podendo ser a Internet.
- **Mesh Basic Service Set (MBSS):** É um grupo de nós que formam a rede mesh.

As redes mesh caracterizam-se por seus dispositivos se organizarem automaticamente, possibilitando assim uma topologia robusta e totalmente dinâmica, ou seja se um nó parar de funcionar a própria rede se adapta para encontrar caminhos alternativos, isso se dá graças aos protocolos de roteamentos.

Como podemos perceber na figura 4, a rede mesh é composta de mesh router with IP gateway – são os roteadores que se comunicam com a rede externa, nesse caso a internet e com a rede interna com os outros mesh router, os mesh router – que são os roteadores que se comunicam apenas com a rede interna e quando precisam acessar a rede externa a comunicação passa pelo mesh router IP gateway, os *wireless* mesh clients são os dispositivos que estão conectados na rede mesh.



Figura 4: Como é uma topologia em uma rede mesh



Fonte: Akyildiz, 2005

### 3.2 Protocolos de Roteamentos

A rede mesh é uma rede que se comunica através de múltiplos saltos, ou seja, a comunicação passa de nó em nó até que se chegue ao destinatário, porém para que esse trabalho seja eficiente e preciso (GARAY; HIRAMATSU et al, 2008), o padrão IEEE traz protocolos de roteamentos baseados no AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector) que pertence a rede Ad-hoc (BAUER, 2012).

O IEEE 802.11s aborda como proposta o principal protocolo de roteamento para as redes mesh, que é chamando de protocolo HWMP (Hybrid *Wireless* Mesh Protocol), o qual está dividido em dois mecanismos: roteamento sob demanda e o roteamento proativo (GARY; HIRAMATSU et al, 2008).

- **Modo Sob demanda:** Funciona em todos os nós da rede mesh. Este modelo tem como função a descoberta de caminhos, ou seja, a rota em que é possível se passar os dados da comunicação (GARY; HIRAMATSU et al. 2008) e é ativado apenas quando um determinado nó desconhece o caminho

a ser tomado, como por exemplo, se uma estação não conhece o caminho a ser feito até um determinado nó, por motivos de defeito de um nó ou por adicionar uma estação esse protocolo é ativado para se descobrir a rota em que a informação deve ser tomada (BAUER, 2012).

- **Modo proativo:** Esse modo é responsável por criar uma tabela de roteamento, ou seja, cria-se uma estrutura em forma de árvore, contendo todos os nós da rede mesh. Os nós ainda são responsáveis por calcular a melhor rota a ser tomada para a transição de dados (GARY; HIRAMATSU et al, 2008; BAUER, 2012) explicado conforme o capítulo 4.2.2, neste trabalho.

Numa visão mais simplificada, cada nó da rede mesh possui uma espécie de cliente-emissor-receptor sem fio, ou seja, cada estação de uma rede mesh é interconectada entre si, formando um malha sem fio. Lembrando que cada nó é um ponto independente à medida que pode definir sua própria rota.

### 3.2.1 Roteamento sob demanda

Conforme Farias (2008) o roteamento sob demanda conhecido também como reativo é um protocolo que tem como função redescobrir as rotas de uma rede mesh, ou seja, o seu funcionamento é fundamental para que esta rede funcione corretamente. Esse protocolo só faz uma busca para atualizar apenas quando há necessidade.

Essa necessidade se dá da seguinte forma: um nó “A” deseja realizar uma transferência de dados para um nó “B”, o nó “A” verifica o caminho em sua tabela de roteamento, se por algum motivo ele desconhecer o caminho a ser tomando ate o nó “B”.

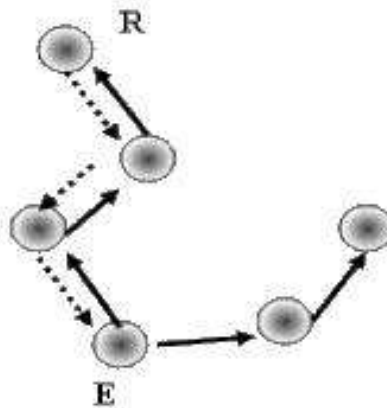
A partir de então o nó de origem envia um pacote de requisição de rota (RREQ), na qual esse pacote contém o endereço do nó de origem, o nó de destino e um registro da rota realizado. Esse pacote é enviado para os nós vizinhos, ou seja, o RREQ é enviado para os nós mais próximos de modo broadcast (BAUER, 2012)

Segundo Tanenbaum, quando um pacote é transmitido e processados por todos os dispositivos de rede, está ocorrendo uma operação de broadcast. E quando dois pontos da rede se comunicação diretamente está ocorrendo um unicast.

Quando o pacote chega ao nó destinatário ele por sua vez reenvia de modo unicast para o nó de origem. O nó destinatário executa um algoritmo de seleção de rotas, para que possa selecionar a melhor rota a ser tomada para a transição de dados. Após o processo de descoberta, essa rota é adicionado na tabela de roteamento do nó que solicitou a rota, e eventualmente atualizada. (FARIAS, 2008).

Conforme demonstra a figura 5, o ponto “E” deseja se comunicar com o ponto “R”, porém o ponto “E” desconhece a rota a ser tomada. O ponto “E”, por sua vez, envia o RREQ em modo de broadcast para os nós vizinhos até que este chegue ao destinatário. Quando o RREQ chega ao destinatário, que no caso o ponto “R”, ele responde de modo unicast até o ponto “E” e é adicionado em sua tabela de roteamento.

Figura 5 - Roteamento sob demanda



Fonte: Garay, Hiramatsu, et al, 2008

Durante o processo de descoberta ou na atualização dos protocolos, tanto para o roteamento sob demanda ou do proativo, cada nó contribui para os cálculos de métrica (que é realizada durante o processo), e cada nó troca informação entre si. Essas informações podem conter os seguintes pacotes: (ALBUQUERQUE, 2008):

- **PREQ (*Path Request*)** – Requisição de caminho: É enviado via broadcast para requerer um caminho dentro da rede;
- **PREP (*Path Reply*)** – Resposta de caminho: É enviado em forma de resposta para o nó que requisitou o caminho;
- **PERR (*Path Error*)** – Erro de caminho: É para notificar erro ao tentar encontrar o caminho solicitado.
- **RANN (*Root Announcement*)** – Anúncio de nó da raiz: É utilizado para indicar o nó que pertence a raiz da rede, ou seja, o que está conectado com a rede externa.

### 3.2.2 Roteamento proativo

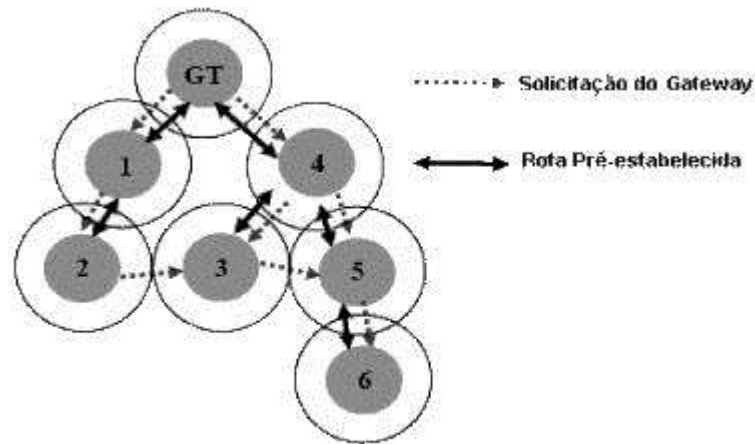
Esse roteamento possui protocolos para que mantenha uma tabela com o endereçamento de todas as rotas possíveis de uma rede mesh, para que quando houver a necessidade de troca de informações ou o envio de dados a rede não perca tempo procurando rotas possíveis e com isso perder tempo (FARIAS, 2008).

Uma característica do protocolo proativo é a manutenção da tabela de rotas sempre atualizada, através da constante comunicação entre os nós da rede. Essa constante troca de mensagens entre os nós é que confere a rede mesh a sua topologia dinâmica (FARIAS, 2008).

Para que os nós possam atualizar a tabela de roteamento, o GT (*Gateway*) envia uma PREQ (*Path Request* - Requisição de caminho), onde os nós repassam em modo de broadcast para os nós seguintes, isso é representado através da linha tracejada. As linhas em negrito contínuas, são os nós que já possuíam na tabela de roteamento Na figura 6.

Na Figura 6 podemos visualizar como o protocolo proativo é representado em uma rede mesh.

Figura 6-Protocolo de roteamento pro ativo



Fonte: Garay, Hiramatsu, et al, 2008

Dessa forma o nó pode se mover livremente ou até mesmo parar de funcionar que a rede continua em pleno funcionamento. Com o protocolo proativo a rede se torna mais robusta e menos propícia a falhas, essa é uma das características e um dos benefícios da rede mesh.

### 3.3 Cenários e Aplicações da Rede Mesh

Os cenários onde se podem aplicar as redes mesh são bem amplos, pois com a característica da topologia ser dinâmica e pelos nós serem conectados, possibilita o emprego das redes mesh em diversos cenários, como por exemplo, em empresas, em redes domésticas ou metropolitanas.

Mas as redes mesh podem ser aplicadas também em cenários de desastres, para facilitar a comunicação entre as cidades devastadas por furacões, terremotos, pois por possuírem uma rede totalmente versátil, permite com que as pessoas se comuniquem entre si, sem precisar de uma infraestrutura fixa.

#### 3.3.1 Cenário doméstico

No cenário doméstico é possível criar uma rede mesh pequena, interligando roteadores, celulares, tablets, televisões, computadores, impressora e, com isso,

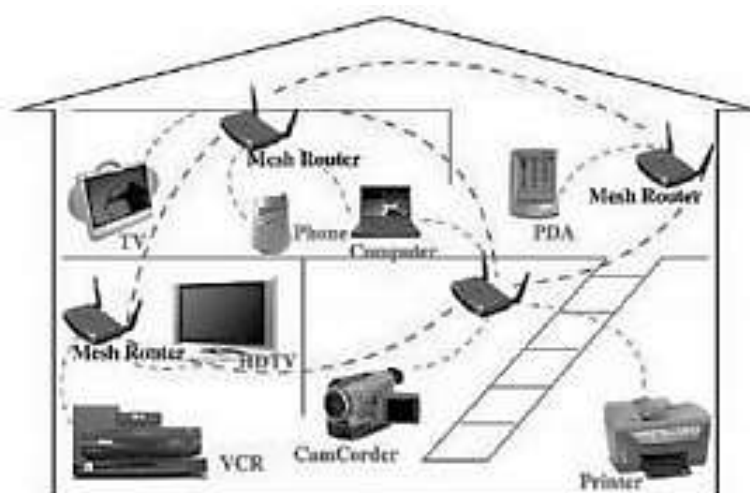
melhorando a área de cobertura do sinal sem fio, contribuindo para uma redução nos custos de implementação da rede, haja vista que, pelo modo tradicional (infraestruturada), para a ampliação do sinal, necessitaria a compra de outro roteador.

Pfeil diz em seu artigo que várias empresas buscando uma forma de fazer com que os aparelhos, como notebooks, televisões, celulares estarem conectados para formar uma rede segura, eficiente barata, e com baixo consumo de energia dos aparelhos. Pensando nisso empresas, como a Samsung, Silicon Labs, Labs ninho e entre outras se uniram e criaram o grupo thread.

Com a união dessas empresas deu se origem ao protocolo thread, um novo protocolo de rede sem fio. Esse protocolo vem para somar e pode se tornar uma forte tendência, pois possui muitas vantagens, como por exemplo, conectividade simples, rede segura e baixo consumo de energia.

A figura 7 representa uma forma de como poderia ser representado uma rede mesh em um ambiente doméstico, conectando equipamentos eletrônicos sem fio.

Figura 7- Representação de uma rede mesh no cenário domestico



Fonte: Farias, 2008

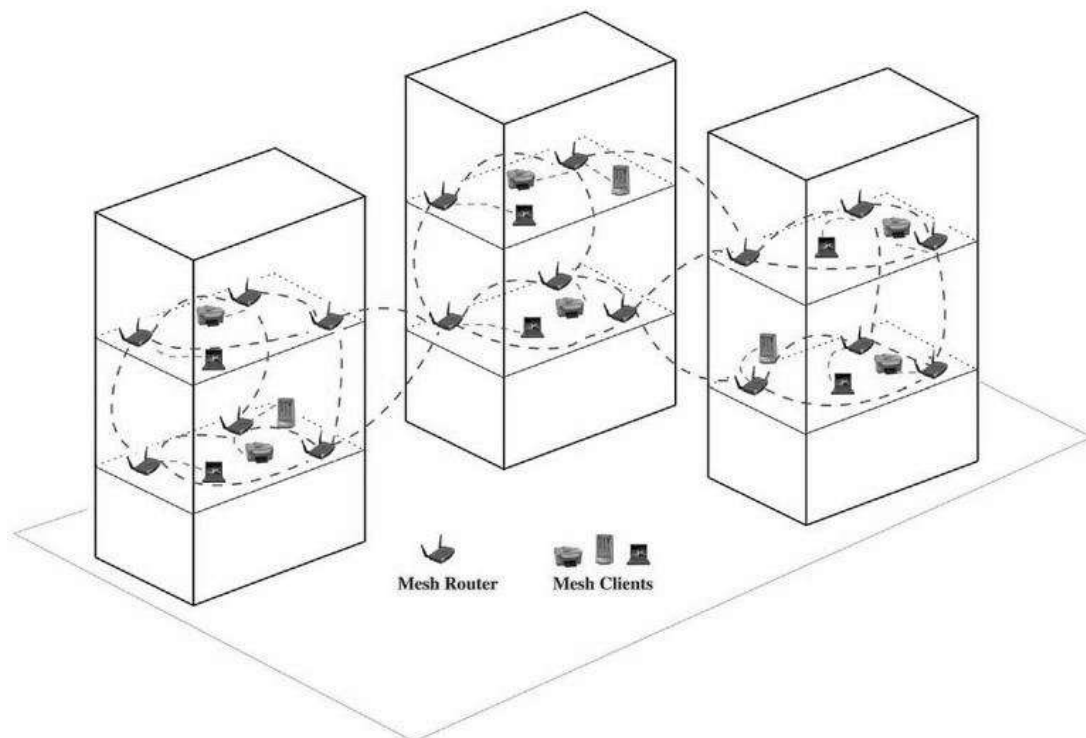
O protocolo thread emprega diversas tecnologias já existentes, combinando os pontos fortes de cada uma. O que proporciona uma forma otimizada de conectar os dispositivos domésticos. (PFEIL, 2014)

O protocolo thread não é uma aplicação ou plataforma, onde se conecta diversos tipos de redes diferentes. Esse protocolo é um segmento do protocolo IPv6, baseados em padrões abertos, projetado para a rede mesh e com baixo consumo de energia. (PFEIL, 2014)

### 3.3.2 Cenário empresarial

No cenário corporativo a rede mesh pode ser pequena; conectando escritórios, pode ser de médio porte; conectando o prédio inteiro, ou até mesmo, uma rede de grande porte; conectando vários prédios e filiais. A figura 8 representa uma rede mesh de grande porte, isto é, interligando escritórios e prédios em uma única rede sem fio mesh.

Figura 8 – Representa uma rede mesh no cenário empresarial

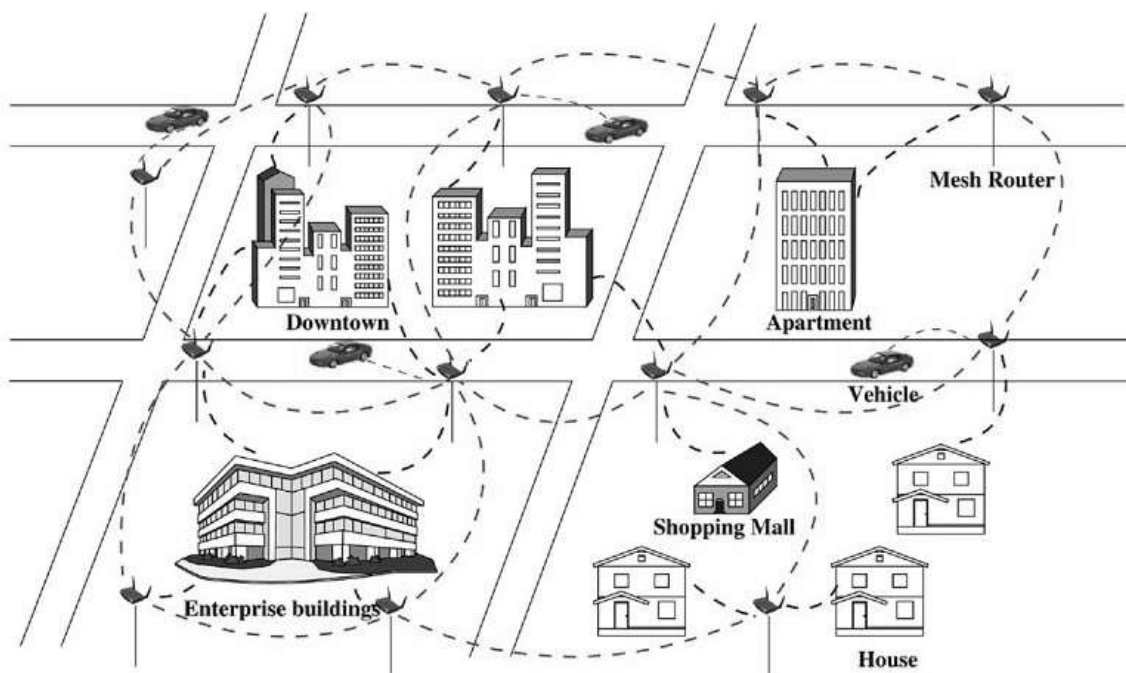


### 3.3.3 Cenário metropolitano

Pela própria característica deste cenário, a rede mesh neste ambiente já se mostra de grande porte, pois possibilita além da conexão entre empresas, residências e órgãos governamentais, também pode conectar pessoas e veículos através de seus dispositivos móveis. Figura 9.

As redes mesh em um cenário metropolitano podem trazer uma série de vantagens, como por exemplo, aumentar a segurança pública ou privada, aumentar a inclusão digital com acessos à Internet de graça e de boa qualidade para todos os moradores, e turistas.

Figura 9 – Representa uma rede mesh no cenário metropolitano



Fonte: Akyildiz, 2005

Tomando-se como base o cenário da figura 9, também pode-se criar uma rede mesh a partir da interconexão entre duas cidades vizinhas que já dispõem deste tipo de



conexão e, com isso, aumentar ainda mais os benefícios desta topologia, além da possibilidade de manutenção da comunicação entre estas cidades, principalmente em momentos de desastres naturais, os quais acabam por inviabilizar alguns serviços essenciais (comunicação, estradas, entre outros).

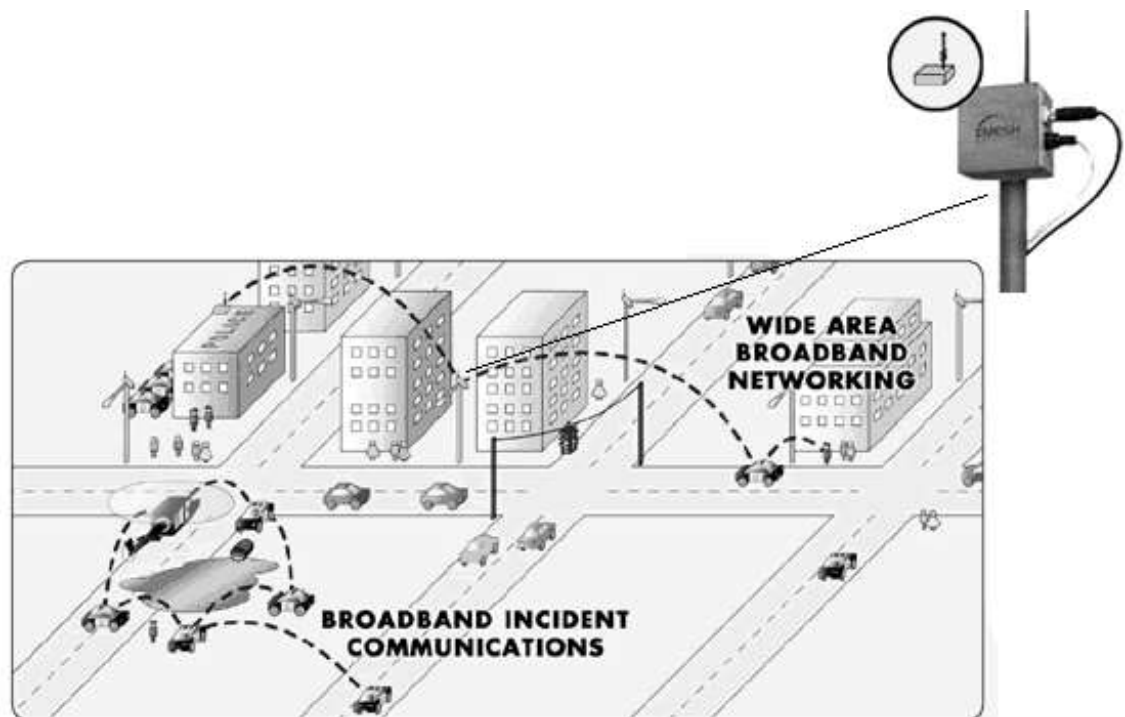
Um exemplo prático para este ambiente foi após a passagem do tufão Hayan, nas Filipinas, onde várias cidades foram afetadas e ficaram sem comunicação e, como isso prejudicando as ações da ajuda humanitária. E, por não ter uma forma de comunicação eficiente não conseguia acesso às áreas devastadas.

Num país como as Filipinas, onde mais de 90% da população tem acesso à telefonia móvel, a criação de uma rede mesh de emergência seria de grande relevância para o restabelecimento da comunicação, bem como atendimento de forma mais imediata às vítimas da catástrofe (CHOKSHI, 2014).

#### **3.3.4 Segurança pública e privada**

A rede mesh pode ser aplicada também na segurança pública ou privada, auxiliando na segurança de civis. A rede pode também ser conectada aos carros de policias, para auxiliar na comunicação entre eles e para ajudar no reconhecimento de criminosos, assim como a figura 10 representa uma rede formada por viaturas.

A figura 10 representa uma rede mesh sendo aplicada em segurança pública e privada. Onde as viaturas e as câmeras estão conectadas e comunicando entre si.



Fonte: MeshNetworks, Inc.

Os policiais e os civis podem acessar a rede interna da rede mesh para manter a comunicação, em caso de desastres naturais, como por exemplo, enchente, terremoto, em casos como queda de torres de comunicação, como por exemplo, de torres de telefonia, com isso possibilita a comunicação e a até mesmo salvar vidas.

## 4 ESTUDO DE CASO

Há vários projetos que aplicam o conceito de redes mesh, como, a *FreeNet San Francisco* e o *Lugro-mesh* na argentina. No Brasil alguns estados já implementaram redes mesh em algumas de suas cidades. Um destaque pode ser dado ao Projeto NAVEGAPARÁ. Esse projeto de inclusão digital composto pela interconexão de vários municípios do Pará é, atualmente, o maior projeto de inclusão social no Brasil.

O estudo de caso sobre o NAVEGAPARÁ, abordado neste trabalho, foi baseado em uma entrevista da diretora da Prodepa, Leila Daher, no ano de 2013. A Prodepa foi uma das empresas responsáveis pelo desenvolvimento, implantação e manutenção do projeto NAVEGAPARÁ, para a Rede Cidade Digital.

Outro exemplo de projeto de inclusão digital de reconhecido sucesso é o da cidade histórica de Tiradentes/MG, no qual, através de uma parceria entre o governo do estado de Minas Gerais e a Cisco – uma das maiores empresas de tecnologia em comunicação do mundo – foi possível a distribuição de sinal de Internet à comunidade. Um breve histórico sobre este projeto será relatado mais adiante neste estudo de caso.

### 4.1 O Projeto Navegapará

O projeto teve início em 2007 e é uma iniciativa do governo do estado do Pará, com o objetivo de fomentar a inclusão social através da inclusão digital e promover a democratização da Internet para os órgãos do governo e para a sociedade, possibilitando a implantação do Governo Digital, bem como aproximação dos cidadãos às políticas públicas.

Com a rede do NAVEGAPARÁ foi possível interligar vários serviços de diferentes áreas à comunidade paranaense, como por exemplo, na área da saúde, o Telessaude e o Telemedicina que trazem benefícios não apenas à população, mas também aos profissionais da área da saúde. Na educação, criaram sistemas que permitem salvar dados em nuvem de forma simples, tornando a troca de informações entre as escolas mais rápida e fácil, facilitando o aprendizado.

Todo o projeto utiliza softwares livres, ou seja, permitem aos programadores ou até mesmo que usuários, com conhecimento suficiente, possam, melhorar, ou adaptar o sistema. Nos infocentros, utiliza-se o sistema operacional Ubuntu.

O projeto possui três ações de inclusão digital:

- **Cidades Digitais;**
- **Infocentros;**
- **Acesso à Internet livre;**

#### **4.1.1 Cidades digitais**

As cidades Digitais do projeto NAVEGAPARÁ baseiam-se na implantação de pequenas redes de fibra óptica ou redes sem fio banda larga possibilitando assim contribuir em ações como o telemedicina, tele-educação e segurança pública, além de interligar todos os órgãos do governo e os municípios.

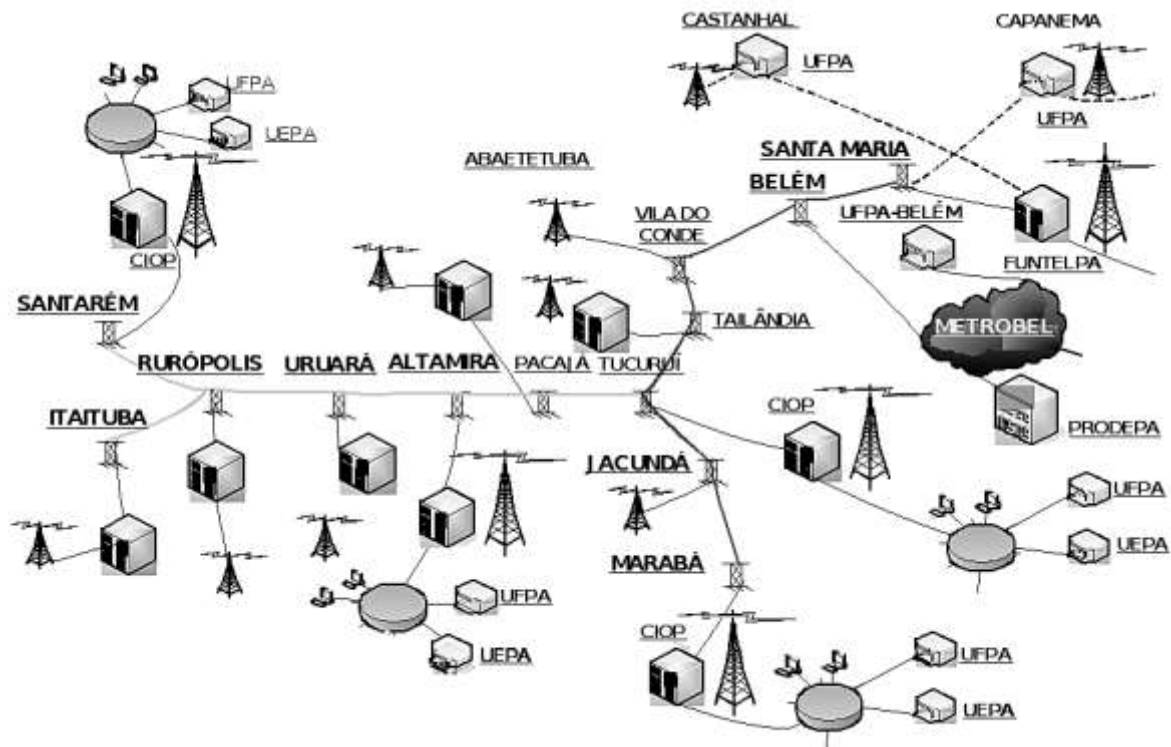
Com as Cidades Digitais é possível prover aos cidadãos serviços públicos através do acesso à Internet, tais como, realizar consultas de documento ou de processos, ou até mesmo, inscrições em concursos públicos, de forma rápida.

Cada cidade que faz parte do projeto possui uma estação cliente, onde fica um servidor do Governo do estado, na qual esse servidor fica responsável para a distribuição do sinal de internet para as estações localizadas naquela cidade.

As estações clientes são órgãos do governo, tais como, delegacias, escolas públicas, secretarias municipais e estaduais e Corpo de Bombeiros. De acordo com Leila Daher (2013), o projeto já possuía sessenta e três municípios interligados e sessenta e oito Cidades Digitais, distribuídos em onze microrregiões do estado do Pará.

A figura 11 é um diagrama geral composto de fibra óptica e redes sem fio do projeto NAVEGAPARÁ, exemplificando como é distribuída a conexão entre as cidades e os órgãos do governo que compõem o maior projeto de inclusão digital do Brasil.

Figura 11 – Diagrama geral de conexão do NAVEGAPARÁ



Fonte: Navegapará, 2010

#### 4.1.2 Infocentros

O programa de Inclusão digital conta ainda com os infocentros (telecentros), são centros públicos que permite aos moradores terem acesso à Tecnologia de Informação, ou seja, aproxima principalmente a comunidade carente que não possui um acesso a informação digital.

Os infocentros têm como objetivo disponibilizar serviços, como, acesso à Internet, cursos de informática básico com software livre e cursos de informática avançados, para a população carente das regiões onde estão instalados. Onde percebe-se que

sem a iniciativa do projeto não haveria condições de oferecer tais serviços à população.

#### **4.1.3 Pontos de acesso à internet**

Os pontos de acesso à Internet wi-fi estão espalhados pelas cidades, em praças, orlas, mirantes, locais onde a população pode fazer acesso livremente através de seus dispositivos móveis, tais como, notebooks, celulares, netbooks, ou seja, com qualquer equipamento que possa se comunicar em uma rede sem fio.

Esses pontos de acesso são muito úteis não só a população, mas também para os turistas, que precisam de informações sobre os lugares onde desejam visitar, transformando um simples dispositivo móvel em um verdadeiro guia, além de melhorar a mobilidade na cidade que se está visitando.

#### **4.2 Inclusão Digital na Cidade de Tiradentes - Minas Gerais**

A cidade de Tiradentes contém uma grande quantidade de acervos históricos, considerados um dos mais bonitos do Brasil. Tanto que a cidade foi tombada pelo Patrimônio histórico em 1938. Tem uma atividade econômica voltada para a agropecuária, artesanato e turismo.

Em Tiradentes, bem como em outras cidades brasileiras, segundo o Ministério da Comunicação, não existe nenhum tipo de infraestrutura de telecomunicações. Recentemente, com a expansão das tecnologias, o estado de Minas em parceria com a Cisco, decidiram criar um projeto de inclusão social no qual disponibilizasse Internet gratuita para toda a população e para os turistas, sem custo e com um bom desempenho.

Um grupo formado pelo Ministério das Comunicações, a Cisco em parceria com a Prefeitura Municipal de Tiradentes através da consultoria técnica da Companhia de Processamento de Dados do Município de Belo Horizonte (PRODABEL), assinaram o projeto para a construção de uma rede sem fio de banda larga, para a cidade histórica de Tiradentes. O projeto tinha o objetivo de permitir a utilização da

tecnologia *Wireless Mesh* da Cisco às escolas municipais, prédios da prefeitura, postos de saúde e centros comunitários.

#### **4.2.1 Desafios da implantação**

A cidade de Tiradentes possui muitos fatores que impediam a construção de uma infraestrutura de rede de comunicação, como por exemplo, é uma cidade serrana, com construções antigas - que em sua maioria formada de pedras. Tais fatores dificultam a dissipação de ondas de rádio, por causa do relevo ondulado dos terrenos ou pelas espessuras das paredes serem bem mais grossas do que as casas de hoje em dia.

Por se tratar de um patrimônio histórico com seus chafarizes, casarões, sobrados, museus, e outros tesouros, o uso de equipamentos e antenas espalhados pela cidade causaria uma poluição visual sem precedentes, ou seja, como cidade tombada pelo Patrimônio Histórico Nacional tornava-se inviáveis quaisquer práticas tecnológicas até então sugeridas.

#### **4.2.2 Possível Solução**

Em uma avaliação mais apurada os técnicos da PRODABEL, encontraram uma solução viável, tanto do ponto de vista econômico quanto estético para a disponibilidade do sinal de Internet na cidade, uma rede mesh. Onde era possível a instalação de equipamentos em locais estratégicos e cobrir grandes distancias, e tudo isso sem prejudicar a paisagem de Tiradentes.

Para a implantação da redes mesh, foram implantados, rádios da série Aironet 1500 Lightweight Mesh AP nos seguintes pontos: Igreja São Francisco\Rodoviária, Igreja Matriz, Escola Basílio de Gama, e o ponto central na Prefeitura Municipal (onde ficou localizado o gerenciamento da rede).

Os rádios da série Aironet 1500 Lightweight Mesh, funcionam como estações. Cada rádio se conecta aos seus próximos, formando assim uma rede mesh. Esses rádios suportam tanto umidade quanto altas temperaturas, ou seja, mesmo num dia de

chuva, ou em um dia muito quente ele continua funcionando, além de ser compatível com vários tipos de antenas.

#### **4.2.3 Equipamentos utilizados**

Foram inúmeros os modelos de equipamentos e tipos de softwares utilizados para compor a rede mesh em Tiradentes, inclusive softwares de gerenciamento da própria Cisco. Na lista abaixo, são relacionados alguns deles:

- 04 – Radios Aironet 1510 Serie Mesh Acess Point;
- 02 – Radios Aironet 1131;
- 01 – Router 2801-CCME (Router de conexão a Internet, gateway de conexão à rede de telefonia analógica da prefeitura e Call Controller da rede de telefonia IP);
- 01 – Software de gerência da rede mesh Cisco WSC;
- 01 – Controller da rede wireless Cisco 2006
- 02 – Telefones IP modelo 7940G;
- 05 – Telefones IP wireless modelo 7920;
- 01 – Switch modelo 2912;
- 02 – Switches modelo CE500;
- 30 – Placas Wireless USB da Linksys;
- 05 – Câmeras Wireless da Linksys.

Com esses equipamentos foi possível criar uma rede mesh que atendia a expectativa da solução proposta, mesmo com seus inúmeros desafios e sem prejudicar a estética da cidade.

#### **4.2.4 Solução da Cisco utilizada para se criar a rede mesh**

A solução Cisco de Rede Wireless Mesh tem como principais características:

- Fácil implantação;
- Gerenciamento;
- Escalabilidade;



- Segurança;
- Confiabilidade;
- Performance;
- Baixo Custo;
- Mobilidade;

Com a conclusão do projeto foi possível cobrir todo o centro histórico, e prover acesso à Internet banda larga habitantes da cidade. Totalizando 30 estações de acesso à Internet de boa qualidade para a população e para os turistas.

## **5 APLICANDO REDES MESH: UM CASO PRÁTICO**

Existem várias técnicas e equipamentos que permitem aplicar os conceitos de uma rede mesh, como por exemplo, criar uma comunicação P2P (Peer-to-Peer - ponta a ponta) entre notebooks, ou até mesmo comprando equipamentos especializados para se montar uma rede mesh, como por exemplo, os equipamentos da empresa Cisco Wireless Mesh.

No caso prático para desenvolvimento deste trabalho utilizou-se de um equipamento, de baixo custo, e que consome pouca energia, esse equipamento é chamado de Zigbee, modelo U-BEE, permitindo criar redes como P2P, Star e rede mesh.

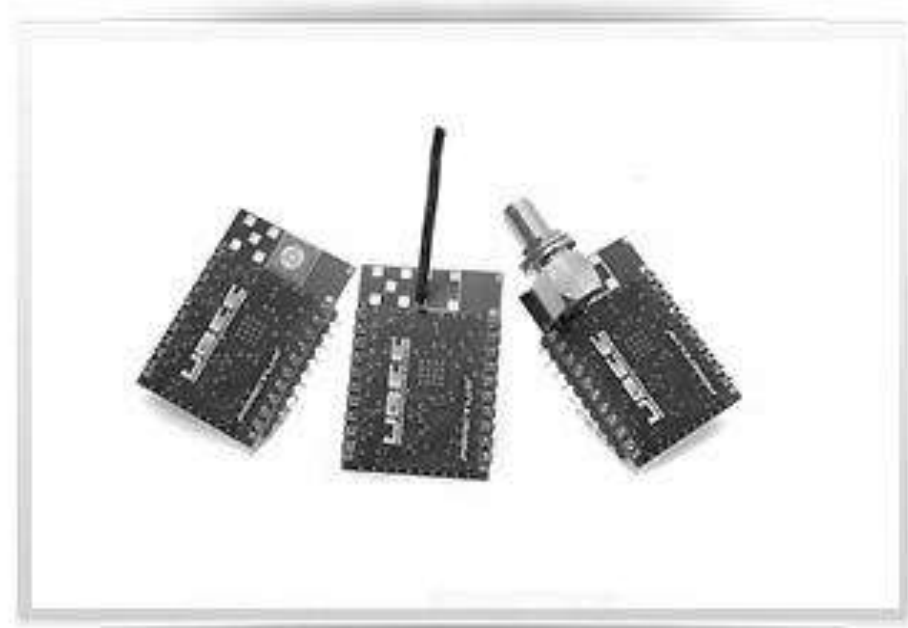
A utilização desse equipamento propicia uma série de aplicações dentro do ambiente doméstico, tais como, permite que uma pessoa possa gerenciar dispositivos para acender e apagar luzes, abrir ou fechar uma cortina e, tudo isso através de uma aplicação no celular.

### **5.1 O que é ZigBee?**

ZigBee é o nome de um protocolo de comunicação sem fio, desenvolvido pela empresa ZigBee Alliance. Esse equipamento possui uma série de especificações para se criar uma rede sem fio formando assim uma rede mesh, de forma simples e barata. Disponível em uma variada série de modelos, entre eles destaca-se o modelo RF U-Bee.

O modelo U-Bee foi desenvolvido para trabalhar na especificação IEEE 802.15.4, para atender as necessidades de baixo custo, baixo consumo de energia, e monitoramento de sensores de redes sem fio. Esse dispositivo permite uma fácil implantação, e oferece uma comunicação de forma segura.

Figura 12 – Equipamento ZigBee modelo U-BEE



Fonte: Microwave, 2011

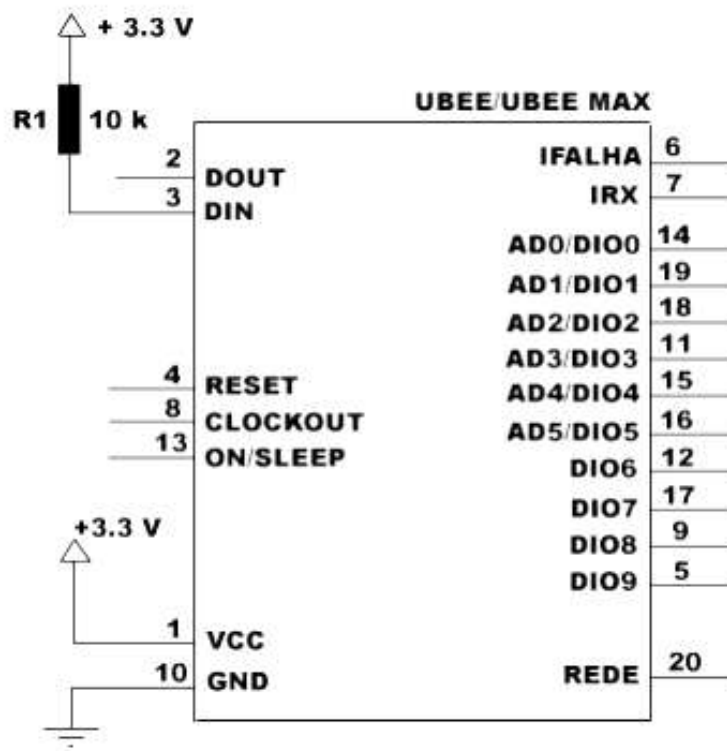
A figura 12 representa o modelo U-Bee de comunicação sem fio. Existem vários modelos como, por exemplo, com antena embutida no equipamento ou com antena externa.

## 5.2 Características do modelo U-Bee

O U-Bee possui uma série de vantagens tais como, um longo alcance de sinal – algo em torno de 50 metros a 150 metros, dependendo do ambiente em que se encontra -, baixo consumo de energia, permite a criação e a comunicação de rede com as topologias ponta-a-ponta, ponta-a-multipontos, e rede com as características de uma rede mesh, além da facilidade de implementação e de usar.

A figura 13 representa um diagrama de pinos de um microcontrolador U-Bee, ou seja, é um diagrama que representa as pontas que esse microcontrolador possui e que permite a conexão de uma fonte de energia, por exemplo.

Figura 13- Diagrama de pinos do U-Bee



Fonte: Microwave, 2011

No Quadro 2 é possível visualizar as pinagem do microcontrolado e a descrição de cada pino. Esses pinos representam portas que serão conectadas a uma fonte, ou até mesmo um botão que possibilita resetar a placa, ou seja, esse botão possibilita iniciar o módulo novamente da placa a qualquer momento que o usuário desejar.

Quadro 2 – Descrição das pinagem do U-Bee

Pino	Nome	Direção	Descrição
1	VCC	-	Alimentação + 3,3V
2	DOUT	Saída	Saída de dados da USART
3	DIN	Entrada	Entrada de dados da USART
4	RESET	Entrada	Inicializa módulo (um pulso nível 0 de pelo menos 200ms)
5	DIO9	Entrada/Saída	Entrada/Saída Digital 9
6	IFALHA	Saída	Indicação de falha na comunicação
7	IRX	Saída	Indicação de dados recebidos

8	CLOCKOUT	Saída	Saída de clock de 4MHz
9	DIO8	Entrada/Saída	Entrada/Saída Digital 8
10	GND	-	Terra
11	AD3/DIO3	Entrada/Saída	Entrada Analógica 3 / Entrada / Saída Digital 3
12	DIO6	Entrada/Saída	Entrada/Saída Digital 6
13	ON / SLEEP	Entrada	Modo de Operação
14	AD0/DIO0	Entrada/Saída	Entrada Analógica 0 / Entrada / Saída Digital 0
15	AD4/DIO4	Entrada/Saída	Entrada Analógica 4 / Entrada / Saída Digital 4
16	AD5/DIO5	Entrada/Saída	Entrada Analógica 5 / Entrada / Saída Digital 5
17	DI07	Entrada/Saída	Entrada / Saída Digital 7
18	AD2/DIO2	Entrada/Saída	Entrada Analógica 2 / Entrada / Saída Digital 2
19	AD1/DIO1	Entrada/Saída	Entrada Analógica 1 / Entrada / Saída Digital 1
20	REDE	Saída	Indicação de Rede

Fonte: Microwave, 2011

### 5.3 Firmware

Antes de iniciarmos a parte prática é preciso atualizar o firmware das placas modelo U-Bee. Esse tutorial foi baseado no [fractumrf](#) onde explica detalhadamente o que se precisa para montar uma rede mesh com esse equipamento.

Para se atualizar o firmware do modelo U-Bee siga os passos:

- 1- Faça download do aplicativo utilizando para o Bootloader, como mostra a figura 14.

Figura 14 – Download do aplicativo para atualizar o software



Fonte: Microwave, 2011

- 2- Descompacte o arquivo baixado no local desejado;
- 3- Abra o arquivo executável Serial Bootloader AN1310 vX.XX;
- 4- Instale o Programa Serial Bootloader:

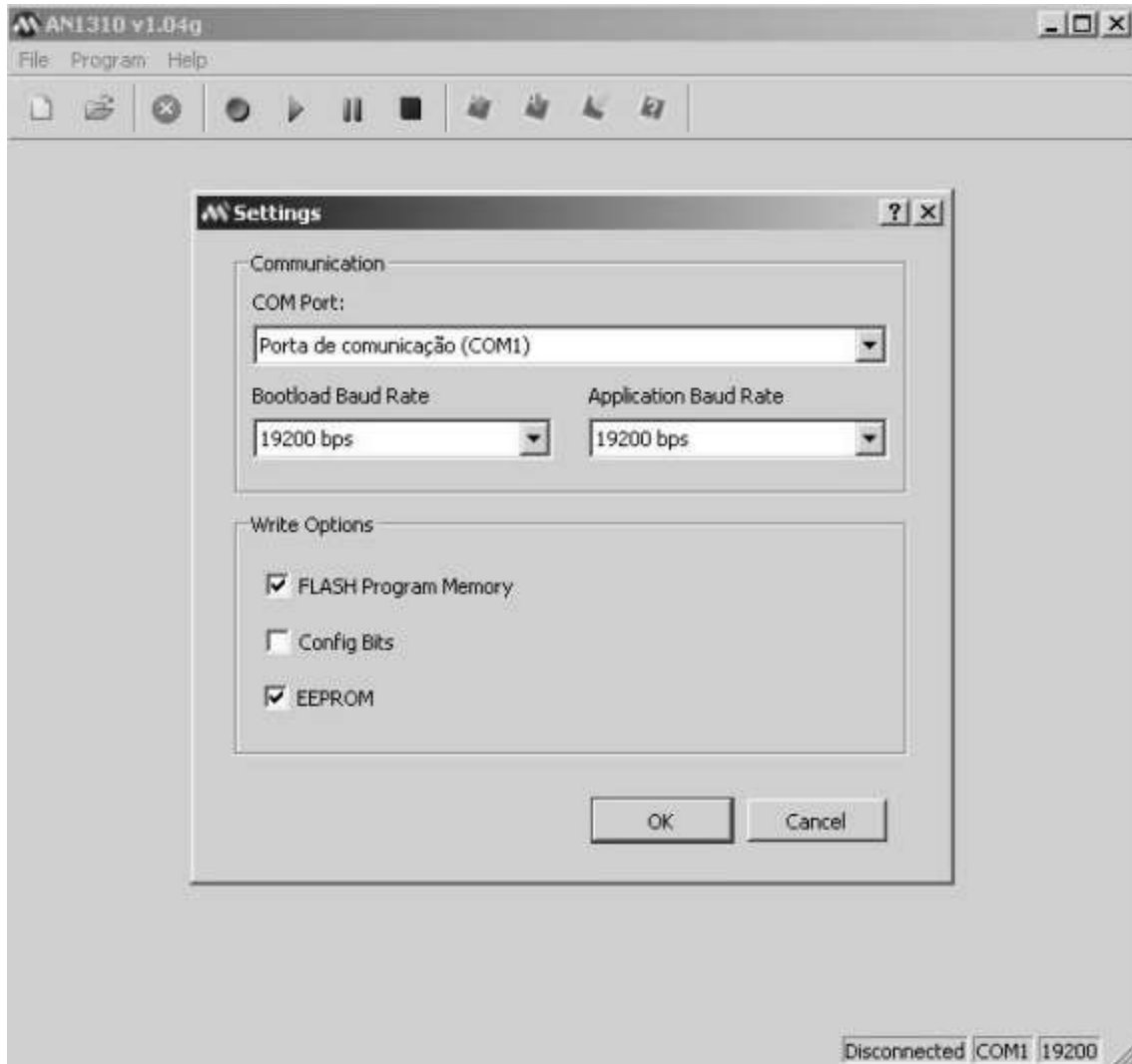
Figura 15 – Serial Bootloader



Fonte: Microwave, 2011

- 5- Na pasta onde foi instalado, abra o programa AN1310ui;
- 6- Abra as configurações do programa (Program/Settings) e o configure da seguinte forma, e aperte OK:

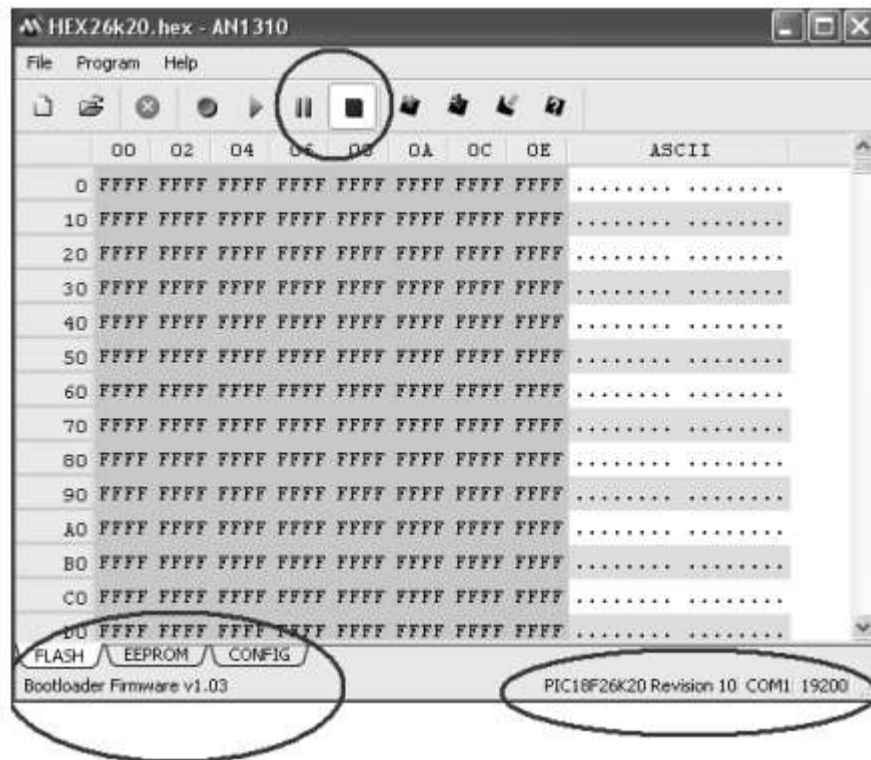
Figura 16 – Configurações para se atualizar o firmware do modelo U-Bee



Fonte: Microwave, 2011

- 7- Aperte o Botão AZUL (pause) no software, resete o modulo U-Bee (tirando a alimentação e o alimentado em seguida) e aperte o Botão VERMELHO (stop) no software. O programa encontrará a versão do Bootloader e apresentará as informações na barra inferior do aplicativo.

Figura 17 – Instruções a serem executadas



Fonte: Microwave, 2011

- 8- Importe o arquivo Hexa do programa U-Bee. Caminho do arquivo: (file>Open>...>U-BEE.hex);
- 9- Aperte o Botão para gravação do dispositivo:

Figura 18 – Instrução para gravar no dispositivo



Fonte: Microwave, 2011

- 10-Espere até que a gravação seja finalizada;
- 11- Para entrar no modo Boot novamente, aperte o Botão AZUL (pause), dê um RESET no microcontrolador e aperte o Botão Vermelho (Stop).



## 5.4 Configurando e Ligando com os Módulos U-Bee

Essa parte prática tem como objetivo demonstrar como fazer as configurações mínimas para se montar uma rede mesh com os módulos U-Bee, pelo Modem Serial. Para isso faz-se necessário os seguintes equipamentos:

- 2 módulos U-Bee ou U-BeeMax com versões de firmware 2.0, se for inferior é preciso atualizá-lo;
- 2 módulos USBee – São microcontroladores que foram desenvolvidos para auxiliar na configuração e operação de módulos U-Bee e UBeeMax utilizando um computador de forma simples através da interface USB;
- 1 computador com 2 portas USB;
- Software hyper-terminal ou putty – Pode ser encontrado para download no site frantum;
- Identifique um módulo como 1 e outro como 2;

Conecte os módulos UBee ou UBeeMax no módulo USBee e ligue-os na porta USB do computador.

### 5.4.1 Configurações necessárias

No hyperterminal ou putty, configure a porta correspondente e os parâmetros de acesso do módulo e envie os seguintes comandos. Sempre após cada comando é necessário apertar a tecla ENTER.

No nó 1, envie os seguintes comandos:

- |  |         |
|--|---------|
| 1- Entre no modo de comando:           | +++     |
| 2- Configure o endereço de destino:    | ATDA 2  |
| 3- Configure o endereço de fonte:      | ATSA 1  |
| 4- Configure o tempo de empacotamento: | ATRO 10 |
| 5- Configure o canal de operação:      | ATCH 20 |
| 6- Configure o ID da rede:             | ATID 1  |
| 7- Salve as configurações:             | ATWR    |
| 8- Saia do modo de comando:            | ATCN    |

No nó 2, envie os seguintes comandos:

- |  |         |
|--|---------|
| 1- Entre no modo de comando:           | +++     |
| 2- Configure o endereço de destino:    | ATDA 1  |
| 3- Configure o endereço de fonte:      | ATSA 2  |
| 4- Configure o tempo de empacotamento: | ATRO 10 |
| 5- Configure o canal de operação:      | ATCH 20 |
| 6- Configure o ID da rede:             | ATID 1  |
| 7- Salve as configurações:             | ATWR    |
| 8- Saia do modo de comando:            | ATCN    |

A partir desse momento foi criado um link entre o nó 1 e o nó 2. Qualquer dado colocado no TX do nó 1 será transmitido para o RX do nó 2 e vice versa.

Os detalhes da configuração são:

- **ATDA 1** – Comando que defini a configuração do endereço de destino, nesse caso o endereço está configurado como 1, se esse parâmetro for configurado como 255, o módulo envia sinal da forma broadcast (todos recebem) e desabilita o envio ACK.
- **ATSA 2** – Comando que defini a configuração do endereço de fonte, neste caso o endereço está configurado como 2. Este módulo passa a ter o endereço de fonte como sendo 2.
- **ATRO 10** – Defini a configuração do tempo de empacotamento dos dados. Defini o tempo de silêncio antes do envio dos dados armazenados no buffer de entrada. Nesse caso se nenhum dado for recebido no pino RX do módulo durante 100 ms, o pacote deve ser enviado. Se configura-lo como 0, cada byte recebido é transmitido.
- **ATCH 20** – Comando de configuração do canal de operação. Nesse caso o módulo ira operar no canal 20.
- **ATID 1** – Comando de configuração de identificação da rede. Este comando serve para identificar a qual rede este modulo pertence.

- **ATWR** – Comando de gravação na memória EEPROM das configurações feitas no módulo.
- **ATCN** – Comando para sair do modo de comando.

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre o funcionamento e a aplicabilidade das redes de computadores denominadas redes mesh. As quais sequeem os preceitos do padrão IEEE 802.11s que ainda se encontra em desenvolvimento. Foi feita uma breve apresentação do surgimento e as evoluções que levaram ao desenvolvimento das redes.

E logo após, um estudo comparativo entre as redes sem fio infra estruturadas e ad-hoc, é feita a apresentação do projeto thread, que surgiu com a união de grandes empresas de tecnologia e que objetivava criar e promover uma rede que garantisse segurança, baixo consumo de energia e praticidade de uso.

A rede mesh, mesmo em estado inicial, já se põe em funcionamento graças a projetos sociais, como o NAVEGAPARÁ, que faz uso de uma rede mista, composta de diversos pontos de acesso sem fio, interligados por fibra ótica.

Vários autores confirmam a superioridade da rede mesh, em relação a rede cabeada ou sem fio infra estruturada, no que tange à confiabilidade e resiliência. Por se tratar de uma rede dinâmica, onde os pontos se organizam automaticamente, esse tipo de rede é idealmente utilizada para cobrir ambientes externos, onde existe a necessidade dos pontos-clientes se locomoverem, ou mesmo se desconectarem constantemente.

Por se tratar de uma tecnologia nova e que apenas recentemente vem recebendo atenção, ainda possui alguns problemas como, a segurança da rede, por se tratar de uma rede sem fio e de grande abrangência. Por esse motivo não há muitas empresas que desenvolvem, ou até mesmo estudos que trazem resultados satisfatórios sobre os problemas apresentados.

Há também os problemas mais técnicos referentes ao funcionamento da rede em si, como o overhead (excesso de cabeçalho), que é o evento que ocorre quando o cabeçalho do pacote é grande o suficiente para causar perda de desempenho ou mesmo o mal funcionamento.

Mesmo em estágios experimentais e de amadurecimento, a rede mesh é uma alternativa que deve ser levada em conta, pois em várias situações se mostra superior a rede cabeada, ou mesmo a rede sem fio infra estruturada, sendo uma possibilidade em parques industriais, centros universitários, grandes eventos, áreas de laser, entre outros.

## 7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. V. N. D. **Multihop MAC**: Desvendando o Padrão 802.11s. 2008. Disponível em: <<http://www.ic.uff.br/~celio/papers/minicurso-sbr08.pdf>>. Acesso em 15 out. de 2014.

ALECRIM, Emerson. O que é Wi-Fi (IEEE 802.11)? 2013. Disponível em: <<http://www.infowester.com/wifi.php>>. Acesso em: 10 out. 2014.

Akyildiz, I. F., Wang, X., and Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: a survey. Comput. Netw. ISDN Syst. Disponível em: <<http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/surveys/mesh.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

BARRETT, Diane; KING, Todd. Redes de computadores. Rio de Janeiro: Gen Ltc, 2010.

BAUER, Murilo. Redes sem fio mesh: padrao 802.11s. 2012. Monografia (Graduação em Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicac,oes) - Instituto Federal de Santa Catarina. São José – Sc. Disponível em: <[http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/d/dc/TCC\\_MuriloBauer.pdf](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/d/dc/TCC_MuriloBauer.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2014.

BREUEL, Cristiano Malanga. Redes em malha sem fios. 2004. Monografia (Graduação em Computação Móvel) - Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo . São Paulo. Disponível em: <[http://grenoble.ime.usp.br/movel/Wireless\\_Mesh\\_Networks.pdf](http://grenoble.ime.usp.br/movel/Wireless_Mesh_Networks.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2014.

CISCO. Tecnologia Cisco promove inclusão digital na cidade histórica de Tiradentes (Minas Gerais). Disponível em: <<http://www.cisco.com/web/BR/microsites/ps/portugues/downloads/CaseTiradentes.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2014.

CHOKSHI, Sonal. It's Time to Take Mesh Networks Seriously. 2014. Disponível em <<http://www.wired.com/2014/01/its-time-to-take-mesh-networks-seriously-and-not-just-for-the-reasons-you-think/>>. Acesso em: 17 set 2014.

CRUZ, Erlon Rodrigues. Arquitetura para controle de políticas de tarifação em redes wimax mesh. 2009. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. São Carlos. Disponível em:

<[http://www.bdttd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2473](http://www.bdttd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2473)>. Acesso em: 14 mar. 2014.

DIGITAL, Rede Cidade. Navegapará e o desafio de levar internet a todas as cidades paraenses. 2013. Disponível em: <[http://redecidadedigital.com.br/noticias.php?id=237&data=Navegapará e o desafio de levar internet à todas as cidades paraenses](http://redecidadedigital.com.br/noticias.php?id=237&data=Navegapará%20e%20o%20desafio%20de%20levar%20internet%20à%20todas%20as%20cidades%20paraenses)>. Acesso em: 10 set. 2014.

FARIAS, Márcio Martins. Protocolo de roteamento para redes wireless mesh. 2008. Disponível em: <[http://tede.pucrs.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=3065](http://tede.pucrs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3065)>. Acesso em: 14 set. 2014.

GARAY, Jorge R. Beingolea; HIRAMATSU, Roberto K.; KOFUJI, Sergio T.. Avaliação experimental de redes mesh com os classmate pcs da Intel. 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1807-17752008000200004&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-17752008000200004&lang=pt)>. Acesso em: 15 set. 2014.

KOTVISKI, Andriel. O que são redes ad hoc. 2009. Tecmundo. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/internet/2792-o-que-sao-redes-ad-hoc-.htm>> Acessado em: 14 jul. 2014

LIFENET. About LifeNet. Disponível em: <<http://www.thelifenetwork.org/about.html>>. Acesso em: 11 out. 2014.

MICROWAVE, Fractum Automotive Rf. Atualização do firmware UBee. Disponível em: <<http://www.fractumrf.com/manuais/atfirmwareUBEE.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2014.

MICROWAVE, Fractum Automotive Rf. Módulos Zigbee 802.15.4. Disponível em: <[http://fractumrf.com/modulo\\_ubee.html](http://fractumrf.com/modulo_ubee.html)>. Acesso em: 15 set. 2014.

MICROWAVE, Fractum Automotive Rf. UBEE An01 - Modo Modem Rev 01. Disponível em: <[http://www.fractumrf.com/ubee\\_documentos/AN01ModoModem.pdf](http://www.fractumrf.com/ubee_documentos/AN01ModoModem.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2014.

NAVEGAPARÁ. NAVEGAPARÁ. Disponível em: <<http://www.navegapara.pa.gov.br/>>. Acesso em: 05 ago. 2014.

PFEIL, Alisa. Introducing Thread: A New Wireless Networking Protocol for the Home. Disponível em: <[http://threadgroup.org/2014\\_07\\_Press\\_Release.aspx](http://threadgroup.org/2014_07_Press_Release.aspx)>. Acesso em: 19 out. 2014.

ROCHA, Leonardo. Grupo com Google, Samsung e outras quer deixar sua casa mais inteligente. 2014. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/tecnologia/59097-grupo-google-samsung-outras-quer-deixar-casa-inteligente.htm>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

RODRIGUES, Nuno José Pereira Farias. Redes mesh sem-fios . 2009. Monografia (Graduação em Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Telecomunicações) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~ee03172/files/tese\\_versao\\_provisoria\\_NunoRodrigues.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~ee03172/files/tese_versao_provisoria_NunoRodrigues.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2014.

SAADE, Débora Christina; GOMES, Antonio Jorge, et al. Redes Mesh: Mobilidade, Qualidade de serviço e Comunicação em grupo. 2008. Cap 2.

SANTOS, Hingo Niklas Dos. Protocolo de roteamento para uma rede mesh. 2009. Monografia (Graduação em ENGENHARIA ELÉTRICA - CEATEC) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC. Campos, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://https://sites.google.com/site/redemesh/Home/projeto-tcc>>. Acesso em: 03 abr. 2014.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de computadores. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

TANENBAUM, Andrew S. Computer networks. 4. ed. Amsterdam, Holanda: Campus, 2000.

TECNOLOGIA, H2g. Infraestrutura. Disponível em: <<http://www.h2g.com.br/tecnologia/nossos-servicos/infraestrutura.html>>. Acesso em: 19 out. 2014.

TEIXEIRA, Edson Rodrigues Duffles. Tutoriais Banda Larga: Wireless Mesh Networks: Aplicações. 2004. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn/pagina_3.asp)>. Acesso em: 15 set. 2014.



TORRES, Gabriel. Hardware: curso completo. 4.ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001.

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 2014.