

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

MICHAEL MENDES MENDONÇA
PEDRO GABRIEL DE MELLO MÁS

UTILIZAÇÃO DA TOPOLOGIA MESH PARA EXPANSÃO DE SINAL WIRELESS

ANÁPOLIS

2021-01

MICHAEL MENDES MENDONÇA
PEDRO GABRIEL DE MELLO MÁZ

UTILIZAÇÃO DA TOPOLOGIA MESH PARA EXPANSÃO DE SINAL WIRELESS

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial para a conclusão da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Engenharia de Computação da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA.

Orientador(a): Prof. William Pereira

Anápolis

2021

**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO/ENGENHARIA DE SOFTWARE**

PEDRO GABRIEL DE MELLO MÁZ, MICHAEL MENDES MENDONÇA

UTILIZAÇÃO DA TOPOLOGIA MESH PARA EXPANSÃO DE SINAL WIRELESS

Monografia apresentada para Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, da cidade de Anápolis-GO como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro(a) de Computação.

Aprovado por:

(ORIENTADOR)

(AVALIADOR)

(AVALIADOR)

Anápolis, 2021.

Resumo

Este trabalho consiste em um estudo sobre a rede *mesh* para demonstrar em ambientes domésticos a melhoria em desempenho, redundância e disponibilidade para seus usuários. O estudo irá abordar todo o formato da rede *mesh* em questão de conectividade, automatização, como funciona e protocolos para fazer uma ligação com a topologia árvore, onde será feita uma comparação entre ambas topologias para identificar como se comportam e atuam e qual tem o melhor funcionamento em ambiente doméstico.

Palavras Chaves: Rede, *Mesh*, Nós, Desempenho, Disponibilidade, Redundância, Laços.

Abstract

This work consists of a study about the mesh network to demonstrate in domestic environments the improvement in performance, redundancy and availability for its users. The study will cover the whole format of the mesh network in terms of connectivity, automation, how it works and protocols to make a connection with another topology, where a comparison will be made between both topologies to identify how they behave and act and which has the best operation in a domestic environment.

Keywords: Network, Mesh, Nodes, Performance, Availability, Redundancy, Loops.

Lista de Ilustrações

Figura 1 -- Representação Topologia peer-to-peer-----	12
Figura 2 -- Representação Topologia Barramento-----	13
Figura 3 -- Representação Topologia em Anel-----	14
Figura 4 -- Representação Topologia em Estrela-----	15
Figura 5 -- Representação Topologia Árvore-----	16
Figura 6 -- Representação Topologia <i>Mesh</i> -----	17
Figura 7 – Representação do Diagrama na Topologia Árvore -----	25
Figura 8 – Representação da topologia mesh-----	26
Figura 9 – Comparação de alcance entre a topologia mesh e árvore-----	27
Figura 10 – Teste ping árvore-----	29
Figura 11 – Teste ping mesh-----	29
Figura 12 – Testes alcance mesh-----	30
Figura 13 – Teste alcance árvore-----	30
Figura 14 – Teste rotas árvore-----	31
Figura 15 – Teste rotas árvore II-----	31
Figura 16 – Teste rotas mesh-----	32
Figura 17 – Teste velocidade árvore-----	33
Figura 18 – Teste velocidade mesh-----	33
Figura 19 – Teste envio e recebimento UDP árvore-----	34
Figura 20 – Teste envio e recebimento UDP mesh-----	34

Sumário

1. Introdução	7
1.1 Contexto histórico	7
2. Fundamentação Teórica	9
2.1 Redes de Computadores	9
2.2 Arquiteturas de Redes	10
2.2.1 Modelo OSI	10
2.2.2 Modelo TCP/IP	11
2.3 Topologia	12
2.3.1 Topologia <i>Peer-to-Peer</i>	12
2.3.2 Topologia Barramento	13
2.3.3 Topologia Anel	14
2.3.4 Topologia Estrela	15
2.3.5 Topologia Árvore	16
2.3.6 Topologia <i>Mesh</i>	17
2.3.6.1 Aplicações da Rede <i>Mesh</i>	19
2.3.6.2 <i>Mesh</i> para ampliação do sinal de <i>Wi-Fi</i>	20
3. Metodologia	22
4. Resultados alcançados	24
4.2 Diagrama Teórico: Topologia <i>Mesh</i>	26
4.3 Representação Prática: Funcionamento das redes para os testes	27
4.4 Representação Prática: Tipos de testes realizados	28
4.5 Representação prática: Teste de <i>ping</i> para o <i>gateway</i>	29
4.6 Representação Prática: Teste de alcance de sinal	30
4.7 Representação Prática: Teste de caminhos de rotas	31
4.8 Representação Prática: Teste de Velocidade	33

4.9 Representação Prática: Teste de envio e recebimento de pacotes via protocolo UDP	34
5. Conclusão	36
6. Referências Bibliográficas.....	37

1. Introdução

1.1 Contexto histórico

A ideia de redes sem fio foi descoberta em 1989, a indústria se preocupa com esta questão há tempos, mas a falta de padronização, de normas e especificações se mostrou como um empecilho, afinal, vários grupos de pesquisas trabalhavam com propostas diferentes. Por esta razão, algumas empresas como 3Com, Nokia e *Symbol Technologies* se uniram para criar um grupo para lidar com este tema e, assim, nasceu, em 1999, a *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA), que passou a se chamar *Wi-Fi Alliance* em 2003 e a partir de 2003 começou a trabalhar com as especificações IEEE 802.11 [Vangie,2012].

Tendo em vista que muitas empresas e residências utilizam em sua rede *wireless* repetidores e roteadores convencionais, perdendo a conectividade em relação a largura de banda, latência, *ping* e *jitter* da rede, essa pesquisa ressalta a importância de se utilizar e mostrar os benefícios da rede *mesh* para conexões *wireless*, além de informar pessoas a como se prevenir em eventual perda de sinal quando tem outros equipamentos instalados em sua rede como repetidores e *access point*.

Com a brusca adoção de uma rede eficiente e conexão adequada, muitos lares não se viram preparados em sua infraestrutura *Wi-Fi* para suportar variadas requisições na rede e ainda manter a qualidade de sinal e velocidade. Como principal desafio, a cobertura *Wi-Fi* e as zonas de sombra (zonas com baixa cobertura e alta latência) nos ambientes afastados dos roteadores, é feito com que a conexão nesses locais seja perdida rapidamente por conta de falta de alcance da rede [Junior,2009].

Diante do cenário de conexão *Wi-Fi* uma rede sem fio ou estruturada precisa de um protocolo e uma topologia para poder se conectar e fazer a transmissão de mensagens entre o remetente e o destinatário de forma consistente e sem perda de sinal, além de se comunicar com outras redes e a internet. Essencialmente em redes sem fio tem-se um problema com relação à expansão de sinal para aumentar o fluxo de dados quando o roteador é convencional, diante da sua tecnologia e topologia, não ocorrendo uma expansão de sinal muito grande em decorrência de seus protocolos e métricas de funcionamento.

Empresas e residências que têm uma disposição grande de usuários conectados a sua rede necessitam de boa conectividade, em especial quando os usuários estão

longe do roteador principal, de modo que o principal problema é a largura de banda baixa oferecida e alta latência, fazendo com que a resposta da conexão se torne lenta [Breule, 2004]. O problema se agrava quando estas pessoas se conectam a repetidores ou roteadores utilizados como repetidores e não tem garantia de que a conectividade a rede irá aumentar sua largura de banda uma vez que a configuração padrão implementada nesses dispositivos é uma outra topologia como árvore, que apenas faz a replicação do sinal do roteador de borda, havendo perda de velocidade e lentidão para trafegar, tornando o gerenciamento não inteligente [Savells, 2007]. De acordo com o exposto, como solucionar problemas de expansão de sinal *wireless* usando a topologia *mesh*?

Esse trabalho se propõe a fazer um estudo científico e posteriormente realizar testes práticos para demonstrar no que a topologia *mesh* se difere da topologia árvore em questão de alcance, desempenho, redundância e disponibilidade. Também está ligado ao Desenvolvimento de um estudo profundo em redes *mesh* mostrando sua tese e aplicação, bem como mostrar aplicações e benefícios da rede *mesh*. Além de relatar melhorias em um estudo científico na sua utilização e exemplificar a topologia *mesh* e outras topologias no quesito Wi-Fi, realizando também testes práticos para diferenciar a topologia *Mesh* da topologia árvore.

Este estudo mostra no quesito conexão suas variadas formas de uma rede wireless ser conectada através de sua topologia, podendo contar como barramento, estrela, anel e entre outras, porém a mais eficiente em questão de disponibilidade e performance é a *mesh*, uma vez que essa topologia trabalha em *mesh* fazendo com que cada dispositivo na rede se torne um nó e para se comunicar com o resto da rede faz-se uma conexão particular *peer to peer* de forma que não exista um servidor central que gerencie esses dados e trafegue de forma mais lenta [Draves, 2003].

O estudo é viável a pessoas consideradas leigas em âmbito tecnológico visto que o funcionamento da topologia e rede *mesh* é de fácil entendimento. As soluções proporcionadas pela topologia *mesh* podem ser aplicáveis a quaisquer pessoas e empresas que desejam melhorar sua conectividade [Badis, 2004]. A pesquisa irá trazer e discutir dados relevantes como forma de conexão e configuração, o que a rede de nós pode beneficiar a quem a executa, métodos de distribuição da rede e protocolos de roteamento para fortalecer com argumentos sólidos a pessoas e empresas que pretenderem utilizar essa topologia em sua infraestrutura.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Redes de Computadores

O surgimento das redes de computadores mudou a forma como os sistemas computacionais eram organizados. Inicialmente, os sistemas computacionais eram organizados tendo como base um único computador responsável por executar todo o processamento e armazenamento necessários. Este modelo foi massivamente empregado quando o custo dos computadores era expressivamente alto, dificultando a aquisição de uma grande quantidade destas máquinas por organização. Com o avanço da tecnologia, os computadores começaram a ser construídos com componentes mais potentes, menores e mais baratos, facilitando a popularização destes equipamentos. Em decorrência deste fato, as empresas e a população em geral puderam adquirir mais computadores. Este cenário propiciou uma forma diferente de organizar os sistemas computacionais, passando do modelo centralizado em um único computador para um sistema computacional organizado com diversos computadores [Santos, 2015].

Uma rede de computadores, por conseguinte, é um conjunto destas máquinas onde cada um dos integrantes partilha informação, serviços e recursos uns com os outros. Uma rede de computadores pode ser definida como uma estrutura de computadores e dispositivos conectados através de um sistema de comunicação com o objetivo de compartilharem informações e recursos entre si [De Lima Cabral, 2017].

As redes de computadores mais conhecidas são a *internet*, a *intranet* de empresas e a rede local doméstica. Graças ao desenvolvimento das redes de computadores, hoje é possível a comunicação via *e-mail*, videoconferência e mensagens instantâneas, o compartilhamento de arquivos, informações e programas de *software* e o uso compartilhado de impressoras. A rede de computadores permite compartilhar recursos à distância, aumentar a velocidade da transmissão de dados e incrementar a confiabilidade. A rede de computadores quebra barreiras geográficas e possibilita que informações sejam compartilhadas entre pessoas e empresas do mundo inteiro, disponibilizando informações locais e globais, e são úteis para a prestação de diversos serviços essenciais [Fernando de Moraes, 2020].

2.2 Arquiteturas de Redes

O desenvolvimento de uma arquitetura de redes de computadores consiste em uma tarefa complexa, pois envolve inúmeros aspectos de *hardware* e *software*, como interface com o meio de transmissão, especificação, verificação e implementação de protocolos, integração com o sistema operacional, controle de erros, segurança e desempenho. O modelo de camadas surgiu para reduzir a complexidade do projeto de arquitetura de redes [Pinheiro, 2018].

A ideia do modelo de camadas consiste em dividir o projeto de redes em funções independentes e agrupá-las em camadas. Dessa forma, cada nível é responsável por determinados serviços e apenas aquela camada pode oferecê-los. Além disso, o modelo implementa regras para a comunicação entre as camadas, isolando suas funções e garantido a independência entre elas [Eliene, 2017].

O modelo de camadas proporciona benefícios de projeto e benefícios comerciais. Através do modelo de camadas, o projeto de rede pode ser dividido mais facilmente e como as camadas são isoladas, não importa como as funções de um nível são implementadas, desde que as regras de comunicação sejam respeitadas. Por meio desta abordagem, uma camada muito complexa poderia ser dividida em subcamadas, sem que essa decisão afete as demais camadas. Além disto, o modelo de camadas traz benefícios para a manutenção do projeto de rede, pois se houver um problema, basta identificar a camada responsável e corrigi-lo. Também se torna possível introduzir novas funcionalidades em uma camada sem afetar as demais, reduzindo o esforço para a evolução do projeto de rede. Dentro dos modelos mais conhecidos de arquitetura destaca-se o modelo OSI e o modelo TCP/IP [Luiz Paulo, 2015].

2.2.1 Modelo OSI

O modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection*) trata da interconexão de sistemas abertos e baseia-se em uma proposta desenvolvida pela ISO (*International Standards Organization*) como um primeiro passo em direção à padronização internacional dos protocolos organizados em camadas. O modelo OSI de fato não consiste em uma arquitetura de rede, pois ele não especifica os serviços e protocolos

exatos que devem ser usados em cada camada. Ele informa apenas o que cada camada deve fazer [Forouzan, 2006].

O modelo OSI tem sete camadas. A decisão para a escolha deste número de camadas foi baseada em cinco princípios, sendo eles: uma camada deve ser criada onde houver necessidade de outro grau de abstração; cada camada deve executar uma função bem definida; a função de cada camada deve ser escolhida tendo em vista a definição de protocolos padronizados internacionalmente; os limites de camadas devem ser escolhidos para minimizar o fluxo de informações pelas interfaces; o número de camadas deve ser grande o suficiente para que funções distintas não sejam colocadas na mesma camada e pequeno o suficiente para que a arquitetura não se torne difícil de controlar. Estas camadas são: Física, de Enlace, de Rede, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação [Sousa, 2006].

2.2.2 Modelo TCP/IP

O TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) representa um conjunto de protocolos que permitem que diversos equipamentos que constituem uma rede possam comunicar entre si. É um protocolo estruturado por camadas na qual cada camada utiliza e presta serviços às camadas adjacentes. Cada camada apenas trata das informações que correspondem à sua função. Durante o período de consolidação da Internet, várias redes isoladas surgiram, demandando uma arquitetura capaz de interligar essas redes para formar uma rede de escala global e o TCP/IP é a principal entre elas. Esse modelo foi desenvolvido em 1969 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, como recurso de comunicação da ARPANET, precursora da Internet. Ele tinha a função de permitir a troca de um grande volume de informações entre um número imenso de sistemas computacionais envolvendo empresas, universidades e órgãos do governo, tudo isso com grande velocidade e confiabilidade. Ele deveria possuir a capacidade de decidir qual a melhor rota a seguir dentro da malha de rede formada pelas organizações envolvidas. Em 1983, com a formalização do modelo OSI, o TCP/IP foi adequado ao modelo e definido como padrão de comunicação de redes. Depois, expandindo-se para a interligação externa dessas redes e constituindo o padrão de comunicação da Internet. O modelo TCP/IP possui quatro camadas sendo elas: Enlace, Rede, Transporte e Aplicação [Torres, 2004].

2.3 Topologia

A topologia pode ser entendida como a maneira pela qual os enlaces de comunicação e dispositivos de comutação estão interligados, provendo efetivamente a transmissão do sinal entre nós da rede. Uma Topologia de rede refere-se ao canal em que um determinado computador se conecta a uma rede e a maneira em que se comunica com outros computadores e a internet, sua estrutura pode ser física ou lógica [Spurgeon, 2000].

A Topologia Física refere-se a como é a conexão entre os nós de uma rede de maneira que um dispositivo se conecta a outro em relação por cabos ou sinais. A Topologia Lógica refere-se a como é transferido o fluxo de dados entre uma rede e outra, contando com seus dispositivos, sem ter necessidade de meios físicos. Alguns exemplos de topologias lógicas são: *Peer-to-Peer*, Barramento, Estrela, Anel, Árvore, *Mesh* e Híbrida [Hartman, 2004].

2.3.1 Topologia *Peer-to-Peer*



Figura 1: Representação Topologia peer-to-peer

A topologia *peer-to-peer* consiste na forma mais básica de interconexões de computadores, onde um par de computadores são interligados diretamente através de um meio de transmissão. A topologia *peer-to-peer* pode ser empregada apenas para prover a conectividade entre dois dispositivos ou em redes de comunicação *peer-to-peer*. Em algumas situações, como o serviço *Utorrent*, pode ser interessante interligar dois dispositivos diretamente para trocar dados. Conexões lógicas da topologia *peer-to-peer* também podem ser muito úteis em redes de comunicação par a par. Este tipo de rede, também conhecidas como *Peer-to-Peer*, exploram a topologia

lógica *peer-to-peer* para eliminar a estrutura centralizada do modelo cliente-servidor. A principal característica do modelo cliente-servidor compreende na existência de um computador com alto poder de processamento responsável por disponibilizar um serviço na rede para um conjunto de clientes. Este modelo assume a disponibilidade do servidor e a inexistência de ataques cibernéticos ou falhas de operação contra este componente. Seguindo neste modelo, cada nó da rede pode atuar como cliente ou servidor, ou seja, pode compartilhar ou adquirir conteúdo ao mesmo tempo [Silva Júnior, 2009].

2.3.2 Topologia Barramento



Figura 2: Representação Topologia Barramento

Na topologia barramento existe um barramento físico de dados, no qual todos os computadores precisam se conectar para se comunicar. Uma característica importante das redes que utilizam fisicamente a topologia barramento consiste na forma como os nós da rede recebem e enviam informações. Para enviar dados, primeiramente um computador precisa averiguar se o barramento está disponível, pois apenas uma mensagem pode ser transportada por vez conhecido como *CSMA/CD*. Quando esse nó consegue enviar uma mensagem, a mesma poderá ser escutada por todos os nós da rede, mesmo sendo endereçada a apenas um computador. Devido a esta característica, quando um computador recebe uma mensagem, a primeira operação executada consiste em verificar o endereço de entrega. Se a mensagem se destina a ele a mensagem é processada. Caso contrário, a mensagem é descartada, pois não existe a necessidade de encaminhamento para outros nós. Devido às propriedades específicas de recebimento e envio de mensagens, as redes

organizadas fisicamente em topologia barramento necessitam de mecanismos de controle de acesso ao meio e técnicas para evitar colisões de pacotes na rede [Oliveira, 2002].

2.3.3 Topologia Anel



Figura 3: Representação Topologia em Anel

Na topologia física anel, os computadores estão organizados em série, formando um circuito fechado. Os computadores não estão necessariamente diretamente conectados, mas normalmente existem repetidores ligados por um meio físico, nos quais os computadores estão de fato conectados. Quando uma mensagem é enviada na topologia anel, a mensagem circula na rede até chegar ao destino ou até voltar ao seu emissor. Devido a esta característica, uma vantagem da topologia anel consiste na facilidade de uma mensagem ser entregue a todos os demais computadores de uma rede [Maia, 2015].

A topologia em anel também apresenta desvantagens em relação às falhas e ao atraso no processamento de dados. Os enlaces que interligam os dispositivos e os próprios dispositivos da rede não são imunes a falhas. Nessas situações, o funcionamento da topologia se torna comprometido, pois deixa de existir o circuito que interliga os computadores. Outra limitação da topologia em anel diz respeito ao atraso no processamento de dados. A razão deste atraso surge em virtude das características do protocolo de controle de acesso ao meio utilizado em redes organizadas nesta topologia, o protocolo *Token Ring* [Morimoto, 2008].

2.3.4 Topologia Estrela



Figura 4: Representação Topologia em Estrela

Em uma rede de computadores organizada por meio de uma topologia estrela, toda a informação gerada pelas estações de trabalho deve passar por um nó central. O nó central se diferencia dos demais por possuir a inteligência para distribuir o tráfego de rede para os demais computadores da rede. Esse nó central se conecta com os demais computadores da rede por meio de uma conexão *peer-to-peer*. Nesta topologia, sempre que um computador deseja enviar pacotes para um determinado destino, esses dados deverão obrigatoriamente passar pelo nó central. Na sequência, o nó central possui protocolos como repassar as informações para os demais computadores da rede [Rappaport, 2009].

A topologia em estrela consiste em uma das topologias mais utilizadas atualmente. A maioria das redes LANs, seja de um escritório, uma casa ou uma universidade, possuem um conjunto de computadores que estão diretamente conectados a um roteador, *switch* ou *hub* para trocar dados. A diferença entre um roteador, *switch* e um *hub* consiste nas suas funcionalidades. Usando um *switch*, o pacote é recebido por uma porta e é encaminhado apenas para a porta em que se encontra o computador de destino. Enquanto que a função de um roteador consiste em processar o pacote e determinar sua rota, sempre que necessário. Além disso, muitos roteadores oferecem funcionalidades complementares, tais como o gerenciamento dos dispositivos das redes e da criação de redes virtuais. Apesar dessas diferenças, os *hubs*, *switches* e roteadores operam de maneira similar em uma topologia em estrela, interligando os

dispositivos da rede e encaminhando o tráfego de uma origem para um destino. No caso das *LANs*, normalmente os roteadores, *switches* ou *hubs* também são conectados com um provedor de serviços de *Internet*, permitindo que os computadores da *LAN* possam acessar serviços disponibilizados na Internet [Carmona, 2005].

2.3.5 Topologia Árvore

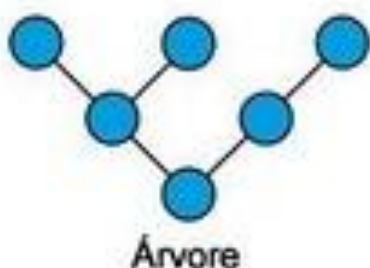


Figura 5: Representação Topologia Árvore

A topologia em árvore envolve uma série de barras interconectadas, sendo equivalente a várias redes estrelas ligadas entre si por meio de seus nós centrais. Geralmente existe uma barra central onde outros ramos menores se conectam. Esta ligação é realizada através de derivadores e as conexões das estações realizadas do mesmo modo que no sistema de barra padrão. Esta topologia é muito utilizada na ligação de *hubs* e repetidores. Diferentemente da topologia estrela, que prevê a interligação apenas com um dispositivo centralizado, a topologia em árvore permite que as estações conectadas à estação central também se conectem com outras estações. Todavia, diferentemente da topologia em *mesh*, a topologia em árvore não permite a existência de conexões fechando circuitos, ou seja, não existe a possibilidade de um pacote percorrer pelo menos três estações, de modo que o primeiro e o último computador sejam os mesmos. A distância máxima sem amplificação é de apenas 100 m. Tem Dependência do nó central, se este falha, a rede fica inoperante, o número de portas de um concentrador é limitado e quando for atingido o limite de portas disponíveis é necessário adquirir outro e interligá-lo com o existente, contando com um ou mais concentradores que ligam cada rede local e existente a outro concentrador que interliga todos os outros concentradores [Kuroge, 2013].

2.3.6 Topologia *Mesh*



Figura 6: Representação Topologia *Mesh*

A rede *mesh* se trata de uma rede escalável com sua topologia dinâmica para ambientes *wireless*, ela forma uma rede de mesh em que a comunicação se dá por meio de nós formando o padrão IEEE 802.11 a 802.16 em transmissão de pacotes entre os nós via múltiplos saltos entre dois ou mais roteadores. Os nós fazem a função de criar uma *mesh* de rede entre outros nós para que a comunicação e o tempo de resposta sejam quase instantâneos (Flickenger, 2004).

A rede *mesh* fornece dois tipos de nós onde é feita toda configuração da rede, definindo os parâmetros para o roteador e para o cliente e qual será a forma de comunicação. Nós de roteamento são aqueles usados para fazer roteamento e *bridge*, é ele que faz toda a comunicação do roteador que está recebendo a internet e fica responsável por fazer o roteamento para que os outros roteadores conectados recebam os pacotes e distribuam para os clientes conectados. São responsáveis por redistribuir o sinal para todo o ambiente uma vez que os roteadores estejam posicionados em locais distantes, esse encaminhamento se dá entre os próprios roteadores garantindo que o sinal seja distribuído por toda a região. Nós de clientes são responsáveis apenas para um cliente poder se comunicar com o outro dentro da mesma rede onde que o cliente atua como um convidado, que apenas envia e recebe pacotes sem protocolos de roteamento e *bridge* (Breuel, 2004).

(Figueiredo, 2006) A partir de seus protocolos a rede *mesh* funciona de forma que eles provêm qual é o melhor nó para se conectar no cliente e vai atualizando automaticamente conforme houver o deslocamento do mesmo, podendo alterar dinamicamente os nós caso algum tiver problema. Ao realizar a conexão do cliente, a rede *mesh* faz uma tabela dinâmica de fluxo de dados onde ocorre uma varredura sobre todos os nós indicando a melhor rota de conexão considerando maior velocidade, menor latência, equipamentos como metais e paredes e menor perda de pacotes (Figueiredo, 2006).

A varredura é realizada diversas vezes durante a conexão, sendo visível ao cliente a custo de verificar qual rota a rede *mesh* está pegando em relação aos seus saltos, a fim de desviar de nós mal configurados ou defeituosos sem que haja perda de conexão. Outras características do funcionamento da rede *mesh* é que apenas um dos roteadores e nós precisa estar conectado a *internet* e os outros precisam ser ligados na energia. Isso ocorre porque a rede *mesh* cria uma manipulação de nós e apenas um nó que esteja conectado consegue replicar o sinal de *internet* para os outros nós fazendo a rede ter escalabilidade e rapidez nas transmissões de pacotes. Desse modo o sistema saberá quais saltos são necessários para receber e enviar requisições do cliente para qualquer ponto de acesso [ROSS, Dave, 2007].

Arquitetura *mesh* possui uma particularidade de cada nó ou cada cliente efetua o roteamento na rede. Por ser dinâmica e com alta mobilidade, a rede *mesh* cabeada, em questão de protocolos de roteamento, estão em constantes pesquisas para o desenvolvimento de protocolos que atenda essa topologia. [OLIVEIRA, 2009].

A rede *mesh* possui os protocolos de roteamento chamados *unicast* e *multicast*. O protocolo de roteamento *Unicast* é a transmissão mais comum, *peer-to-peer*, ou seja, um pacote do nó de origem terá somente um destino. Já No *multicast*, o pacote do nó de origem é transmitido a um grupo de nós destino (SANTOS, 2010).

Por outro lado com protocolos menos convencionais a rede *mesh* utiliza-se destes para realizar o roteamento de pacotes. O protocolo pró-ativo utiliza-se das soluções da rede para manter a sua atualização constante, a partir da mensagem recebida do nó de origem é utilizado para construir rotas para os próximos nós até o destino final, onde será feito o controle para o status ativo. O protocolo reativo cria rotas de conexão entre nó de origem e destino quando há uma requisição de um nó de origem. Isso faz com que a rede fique parada sem comunicação enquanto não houver nenhuma conexão e não há envio e recebimentos de pacotes, tendo então menos

processamento entre os nós. Após o nó de origem iniciar a requisição de envio de pacotes, este vai para a tabela de roteamento em que irá escolher a melhor rota em que houver menos latência e maior largura de banda a fim de evitar perda de pacotes até que chegue ao seu destino, concluído a solicitação os nós param instantaneamente de se comunicar entre eles e com a tabela de roteamento (ARRUDA, Fernanda 2010).

2.3.6.1 Aplicações da Rede *Mesh*

A rede *mesh* vem sendo utilizada em variadas áreas, pois é uma rede de baixo custo sendo que ela se comporta da mesma forma que uma rede estruturada e cabeada, fazendo que seja muito mais tolerante a falhas onde que os nós se reprogramam para não haver erros e tem velocidade de *upload* e *download* que atingem a mesma de uma rede cabeada. Além do mais, o alcance da rede *mesh* é superior de uma rede sem fio convencional, pois não há replicação de sinal e sim uma nova construção de nós para que a sua redundância se mantenha (Harada, 2006). As aplicações da rede *mesh* existem em diversos setores como rede doméstica, onde a necessidade de conectar um a três pontos de acesso para distribuir sinal para uma família e garantir disponibilidade para toda a rede. Em redes de vizinhança a conexão de redes *mesh* se dá por velocidade de transmissão e encaminhamento eficaz de pacotes, uma vez que os pontos de acesso passam a ser os roteadores de borda que se comunicam distribuindo pacotes e recebendo pelas conexões da mesma região. Em redes empresariais o formato de redes *mesh* funciona para interligar grandes pontos como vários prédios, salas onde o objetivo é aumentar a tolerância de falhas, e se eventualmente tiver a necessidade de inclusão de novos nós não há necessidade de reconfiguração. Para redes municipais a rede *mesh* funciona para interconectar grandes pontos como praças, *shoppings* entre outros locais com o objetivo de trocar a rede estruturada para uma rede sem fio e interconectar uma cidade inteira com um ponto recebendo *internet* e distribuindo para os outros em forma de nós, fazendo que *hotspots* sejam o mesmo para uma mesma cidade [HONG,2005].

2.3.6.2 *Mesh* para ampliação do sinal de *Wi-Fi*

Em redes *Wi-Fi* convencionais a conexão já tem uma infraestrutura prévia em que os pontos de acesso transmitem as mensagens da origem ao destino fazendo com que a mensagem passe pelo ponto de acesso até definir o caminho ao destino. Em redes *Wi-Fi mesh* isso não ocorre, pois não há necessidade de ponto de acesso uma vez que quem se responsabiliza entregar as mensagens até a origem são os nós possibilitando que os clientes se comuniquem entre si e cada usuário tenha a função de roteamento dando mobilidade a comunicação entre mensagens (ABALÉM,2007).

Em seu propósito de aumentar a disponibilidade e a constância do sinal a rede *mesh* provém em sua configuração o *beamforming* que serve como redirecionador inteligente, onde irá expandir sinal com mais frequência na direção de aparelhos conectados. Ele usa transmissores e receptores com a tecnologia *MIMO (Multiple Input, Multiple Output)*, desse modo é utilizados múltiplas antenas para transferir dados constantemente, fazendo com que as ondas *wireless* trafegam mais dados nas antenas receptores em diferentes ângulos, favorecendo o poder de captação do sinal receptor e enviando os fluxos de dados exatamente onde o sinal está captando. Já em redes *wireless* normais o sinal é distribuído para ambos os lados conforme a frequência e alcance sem qualquer direcionamento, fazendo com que crie pontos cegos pelo ambiente em locais que não tem aparelhos conectados (AKYILDIZ, 2005).

Outro fator primordial em relação a ambiente *Wi-Fi* e *mesh* é a questão de latência e velocidade propagada quando é colocado um segundo roteador ou repetidor em locais abertos. A tecnologia aplicada em *Wi-Fi* tradicionais para repetidores é que eles atuam como uma ponte do roteador principal, apenas espelhando as configurações e assim replicando o sinal, com isso o sinal vindo de todos as direções que vem do roteador de borda já vem com uma perda de 50% de sinal e notoriamente há uma perda de velocidade da rede e aumento da latência fazendo com o cliente que se conectar no repetidor tenha uma velocidade até 50 % menor e um aumento excessivo de latência. Já em ambientes *mesh* isso não ocorre porque é criado uma cadeia de nós entre todos os roteadores conectados e com isso é formado uma tabela de roteamento dinâmico para a comunicação entre os nós, realizando o melhor caminho para transferência de

dados e comunicação entre roteadores que utilizam *mesh* e mantém-se a alta conectividade (AKYILDIZ, 2005).

Dentre suas características a rede *mesh* tem a automatização que facilita em vários aspectos, como redirecionar o fluxo de pacotes para não congestionar, trafegar com mais velocidade já que o sistema escolhe o melhor caminho com menos perda de pacotes entre os nós, sem necessidade de fazer reconexão física conforme o ponto de acesso estiver mais longe, pois o sistema inteligente se conecta automaticamente ao próximo ponto de acesso sem perder conexão. Outra característica é a distribuição de rede em que a velocidade da rede é direcionada para determinada tarefa que consome alta banda da rede, isso ocorre por causa da tabela de roteamento que pode direcionar mais tráfego para um determinado dispositivo, sem alterar a velocidade dos outros dispositivos na rede pois como atua um sistema inteligente irá sempre recalcular a velocidade dos dispositivos para que a velocidade e latência sejam as melhores possíveis (LIM, 2011).

3. Metodologia

As etapas consistem em um estudo profundo sobre a rede *mesh*, seu protocolo, sua topologia e sua aplicação em redes *wireless*. O estudo abordou a realização de dois diagramas de rede afim de mostrar as diferenças entre uma topologia *mesh* e outras topologias no âmbito *wireless*. O estudo comportou protocolos como *ad hoc*, *OLSR(OPTIMIZED LINK STATE ROUTING)* entre outros e como eles se comunicam para formar a rede *mesh* e sua diferença em ambientes *wi-fi* com outras topologias de conexão. Também foi estudado como a rede *mesh* funciona desde sua origem até a transmissão de dados, juntamente com sua aplicação.

O diagrama que foi apresentado foi feito no programa Visio da *Microsoft* e mostrou como redes *mesh* funcionam diante de sua topologia como é sua forma de conexão e aplicação, para demonstrar diferenças de performance entre rede *mesh wi-fi* e *wireless* com outras topologias. Dentro desses diagramas foi possível diferenciar uma topologia *mesh* da topologia em árvore em seu tratamento de dados e ampliação do sinal pela forma de distribuição das redes, do formato de distribuição e a como se dá a comunicação entre dispositivos e roteadores.

O desenho da arquitetura de redes para a topologia *mesh* apresentou explicações como um roteador pode se conectar a outro sem que haja perda de sinal, velocidade e latência, além de como é um funcionamento de nós e como eles estão todos interconectados entre si garantindo maior disponibilidade a rede. Garantir como é feita uma reconexão por parte do usuário e como ela se diferiu de redes convencionais sem que haja perda de sinal ao passar de um ponto ao outro e também como ocorre o salto de um roteador a outro por parte do usuário conectado.

O primeiro diagrama consistiu em uma apresentação da topologia *mesh* em que teve três roteadores conectados que será mostrado como é feita a conexão da rede *mesh*. O roteador de borda é o que se conectou a internet e fazendo a conexão em cada laço a outro roteador conectado a ele, os outros dois roteadores foram feitas conexões com o de borda e entre si para criar mais nós na rede. As conexões entre roteadores sem fio mostraram como a rede *mesh* funciona. Também teve quatro *notebooks* conectados aos roteadores, sendo dois no roteador de borda e um em cada outro roteador. O segundo diagrama consistiu em uma apresentação da topologia árvore que teve um roteador diretamente conectado a internet e outros dois *access point* que

se conectaram especificamente ao roteador de borda, também foi fornecido quatro *notebooks* para se conectar aos roteadores, com a mesma disposição da rede *mesh*, dois conectados ao roteador de borda e um conectado em cada *access point*.

Para a complementação do trabalho foi realizado testes práticos, onde foi utilizados equipamentos reais para montar duas redes, uma com a topologia *mesh* e a outra com a topologia árvore, os equipamentos utilizados para a formação da rede *mesh* foram quatro *mikrotik hAP ac2*, sendo um como roteador de borda e os outros distribuindo a conexão pelo ambiente. Para a topologia árvore utilizamos quatro *linksys ea6200* do mesmo formato que a rede anterior, um sendo como roteador de borda e os outros como repetidores de sinal. Uma vez que as redes foram implementadas em ambientes reais os testes foram precisos para captar dados de variados testes que demonstraram a diferença entre as topologias apresentadas.

4. Resultados alcançados

A partir do estudo científico sobre a topologia *mesh*, verifica-se que o seu parâmetro de construção de nós para que todos os roteadores se conectem entre si criando um canal de comunicação específico para que a conexão dentre esses nós seja isolada a determinada requisição para que a rede não fique congestionada e que facilite a sua utilização muito em questão de disponibilidade. Nos resultados alcançados será apresentado duas formas de comparação da topologia *mesh* com a topologia árvore, a primeira será uma representação teórica de dois diagramas onde apresentará como seria o funcionamento dessas duas topologias em questão de conexão e funcionamento da rede. A segunda representação será de forma prática onde mostraremos variados testes das duas topologias em ambientes reais de sua utilização. Foi utilizado a topologia árvore como comparação à topologia *mesh* bem pelo fato do seu método de conexão e a forma mais abrangente utilizada atualmente. A topologia árvore como trabalha de forma hierárquica de modo que o roteador de borda sempre tem que fornecer sinal e conexão a outros roteadores pelo método busca de sinal, é o que mais se equivale a topologia *mesh* referente a ambientes *wireless* e domésticos, por isso foi utilizado essa topologia como comparação teórica e prática.

4.1 Diagrama Teórico: Topologia Árvore

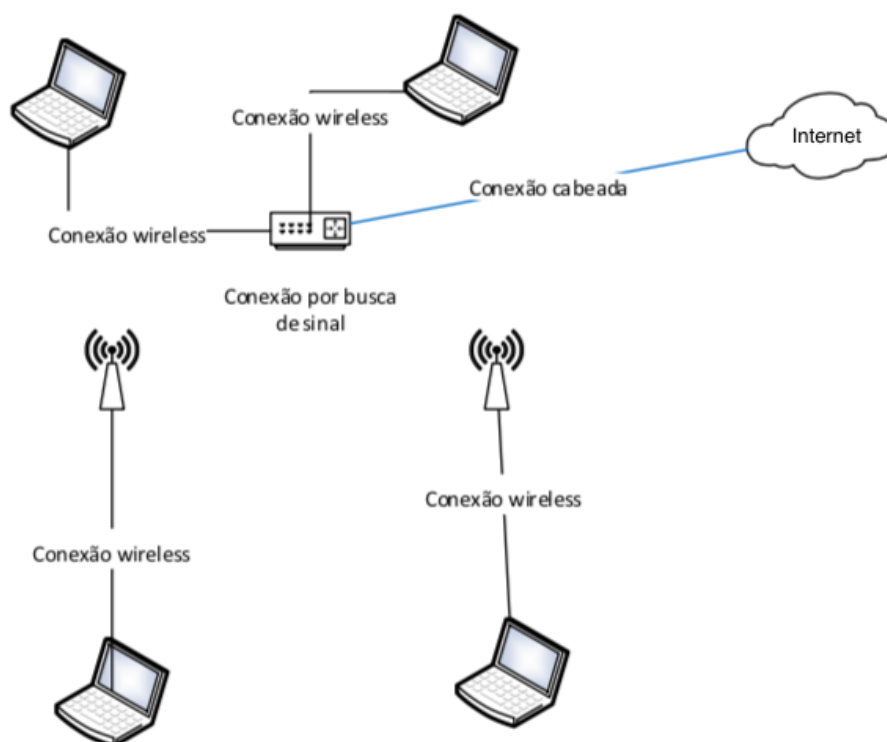


Figura 7: Representação do Diagrama na Topologia Árvore

Nesta projeção tem-se uma rede estruturada na topologia árvore onde o roteador faz o papel de replicar o seu alcance e sinal para os outros acessos *wi-fi*. O que acontece é que os *access point* se conectam ao roteador principal por meio de busca de sinal onde que os mesmos abrem sua frequência e captam os dados de rede vindo do roteador principal uma vez configurado. Desse modo há muita perda de sinal, uma vez que as ondas geradas na conexão têm muita interferência por causa de móveis e paredes que estão no ambiente.

Por ter interferência na rede há um outro problema que é o desempenho dos *access points* em relação ao roteador de borda, pode-se ter uma grande perda de velocidade uma vez o sinal está mais fraco, além de ter aumento de latência por parte de uma requisição de um usuário, uma vez que a frequência é mais baixa e o alcance com o roteador principal que está com uma conexão física com a internet é menor.

Outra característica desse formato de rede é a reconexão por parte dos usuários em diferentes roteadores, uma vez que não tem um parâmetro para reconexão instantânea e automática, sendo assim o dispositivo do usuário tem que

fazer uma nova busca para vincular um outro *access point* para se conectar dentro da mesma rede.

4.2 Diagrama Teórico: Topologia *Mesh*

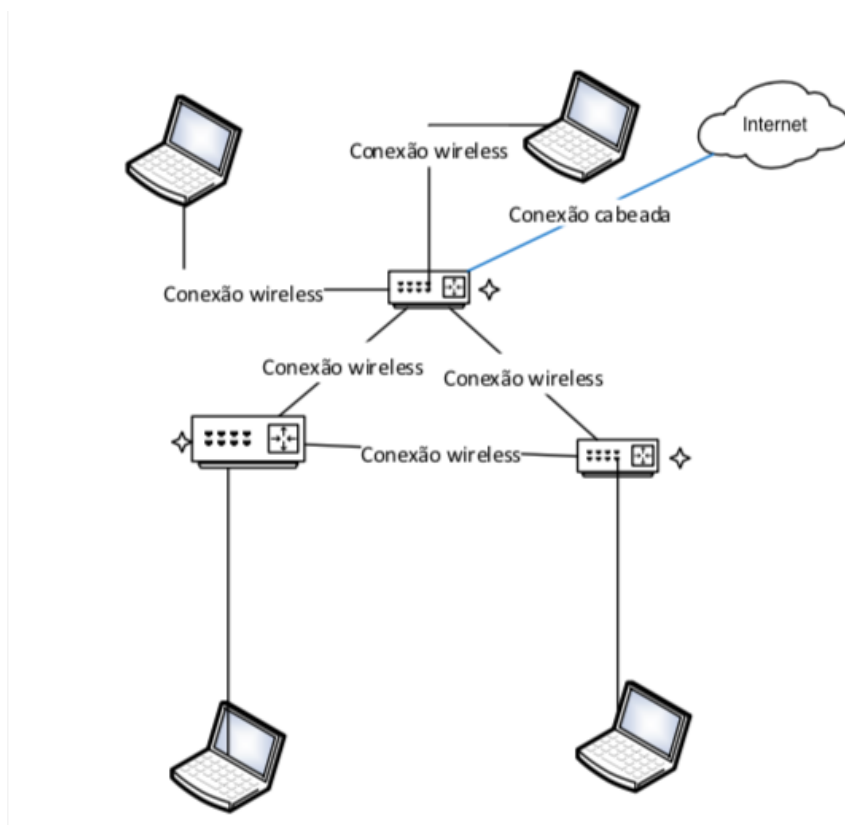


Figura 8: Representação Diagrama na Topologia *Mesh*

Neste cenário tem-se uma rede estruturada com a topologia *mesh* atuante onde que o roteador de borda que conectado diretamente com a *internet* cria-se nós pela rede onde cada um se conecta com os outros roteadores e essa estrutura tem a função de criar uma cadeia de nós e laços pela rede para que haja uma porta de saída e entrada de cada roteador com os outros.

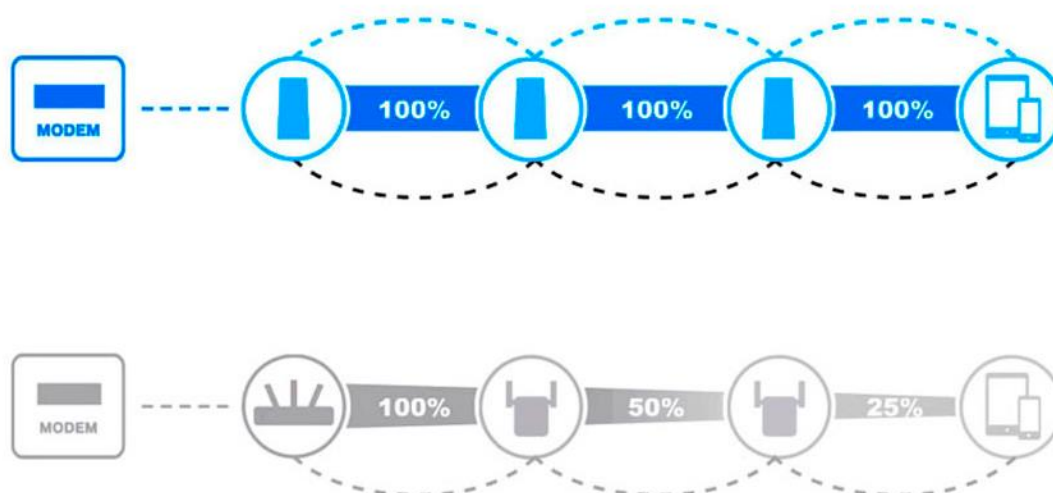


Figura 9: Representação *Mesh* e *Árvore* na distribuição de sinal

Como a conexão dos roteadores são feitos por nós entre a rede é garantido a alta disponibilidade na rede por qualquer usuário que se conectar independente de qual roteador ele preferir, uma vez que não há replicação de sinal e sim criação de nós fazendo com que a velocidade e latência seja a mesma para todas garantindo também a alta performance.

Por sempre garantir a disponibilidade, a rede com a topologia *mesh* tem em sua configuração a tecnologia *beamforming* que é um redirecionador inteligente para envio de pacotes e reconexão, que funciona sempre escolhendo o melhor caminho de nós para que um usuário possa enviar e receber pacotes sem congestionamento na rede, sua outra característica é a reconexão que permite um usuário fazer a reconexão automática entre os diferentes roteadores por questão de proximidade, o *beamforming* permite que os roteadores conectados façam um gerenciamento inteligente para direcionar o sinal específico a posição do dispositivo conectado ao invés de distribuir sinal para todos os lados perdendo velocidade e aumentando latência.

4.3 Representação Prática: Funcionamento das redes para os testes

Para realização dos testes práticos, foi utilizado equipamentos reais como *mikrotik hAP ac2* para a topologia *mesh* e *linksys ea6200* para a topologia árvore. Para identificar a diferença de valores somente pela topologia, ambas as redes testadas possuem o método de conexão via fibra óptica com velocidade máxima de *download* de 150 Mbps e *upload* de 20 Mbps. Os testes realizados foram feitos no

roteador que trabalha como repetidor de sinal onde foi analisado o verdadeiro potencial de padrão das redes.

4.4 Representação Prática: Tipos de testes realizados

Os tipos de testes práticos utilizados para a topologia *mesh* e árvore foram: teste de alcance de sinal, teste de velocidade em *download* e *upload*, teste de *ping* para o *gateway* da rede, teste de caminho de rotas para o site *google.com* e teste de envio e recebimento de pacotes via protocolo *UDP*.

Teste de alcance de sinal é medido para que o aplicativo específico descubra qual a potência do sinal de *wi-fi* está alcançando para o dispositivo conectado na rede. A potência é medida em dBm (*decibel-miliwatts*) que funciona em valores negativos, ou seja, quanto mais o valor se aproxima de zero, melhor a qualidade de sinal. Teste de velocidade se refere a qual velocidade máxima um dispositivo conectado a uma rede possa chegar, *download* se refere ao recebimento de pacotes e *upload* se refere ao envio de pacotes que é medido em *Megabytes* por segundo, quanto maior o valor, maior a velocidade. Teste de *ping* para o *gateway* da rede se refere a um teste de latência, ou seja, tempo de resposta quando um dispositivo conectado a rede realiza uma conexão de dados para o roteador, o tempo médio de resposta para o roteador responder ao dispositivo que se caracteriza o *ping*, o tempo é medido em milissegundos e quanto menor for o valor mais rápida é a conexão. Teste de caminho de rotas para *google.com* se refere a quantidade de saltos que a rede dá para encontrar os servidores da *google* e estabelecer conexão com o mesmo, quanto menor a quantidade de saltos mais rápida a conexão e também é medida a latência em cada salto de conexão em três níveis. Teste de envio e recebimento de pacotes via protocolo *UDP* se refere a um dispositivo conectado na rede que realiza troca de pacotes pela rede sendo envio e recebimentos via camada de transporte *UDP* (*User Datagram Protocol*). a principal característica desse teste é verificar se os pacotes tanto recebidos quanto enviados apresentam o *checksum*, que são somas de verificação do cabeçalho dos pacotes, com eles o pacote consegue se comunicar normalmente entre a origem e o destino sem nenhum tipo de erro ou omissão de informações.

4.5 Representação prática: Teste de *ping* para o *gateway*

```
(base) MacBook-Air-de-pedro:~ pedrogabriel$ ping 192.168.0.1
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=64 time=1.792 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.515 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.640 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=1.658 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.502 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=162.217 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=147.419 ms
Request timeout for icmp_seq 7
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=74.088 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=6.187 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=16.989 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=111.394 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=286.837 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=425.593 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=75.472 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=60.727 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=44.814 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=2.636 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=2.184 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=7.396 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=2.331 ms
Request timeout for icmp_seq 21
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=11.348 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=1.766 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=7.482 ms
^C
--- 192.168.0.1 ping statistics ---
```

Figura 10: Topologia Árvore

```
(base) MacBook-Air-de-pedro:~ pedrogabriel$ ping 192.168.0.1
PING 192.168.0.1 (192.168.0.1): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=0 ttl=64 time=12.266 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=10.930 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=10.602 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=8.875 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.550 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=8.852 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=9.346 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=10.163 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=8.484 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=9.307 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=10.737 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=10.805 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=9.691 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=9.539 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=11.750 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=11.502 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=10.494 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=10.184 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=9.471 ms
64 bytes from 192.168.0.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=9.352 ms
^C
--- 192.168.0.1 ping statistics ---
```

Figura 11: Topologia *Mesh*

Na topologia árvore pode-se verificar uma discrepância de valores no tempo de resposta, isso se dá pela sua característica do roteador conectado não ter um direcionamento inteligente e definir um melhor caminho para o tempo de resposta fazendo com o que o *ping* seja volátil e alguns deles derem *request time out*. Já na

topologia *mesh* os valores se equivalem mais pois os nós de comunicação fazem que todas as requisições de *ping* para o *gateway* tenham tempo de resposta quase iguais ficando no intervalo de 8 a 12 segundos para a resposta.

4.6 Representação Prática: Teste de alcance de sinal

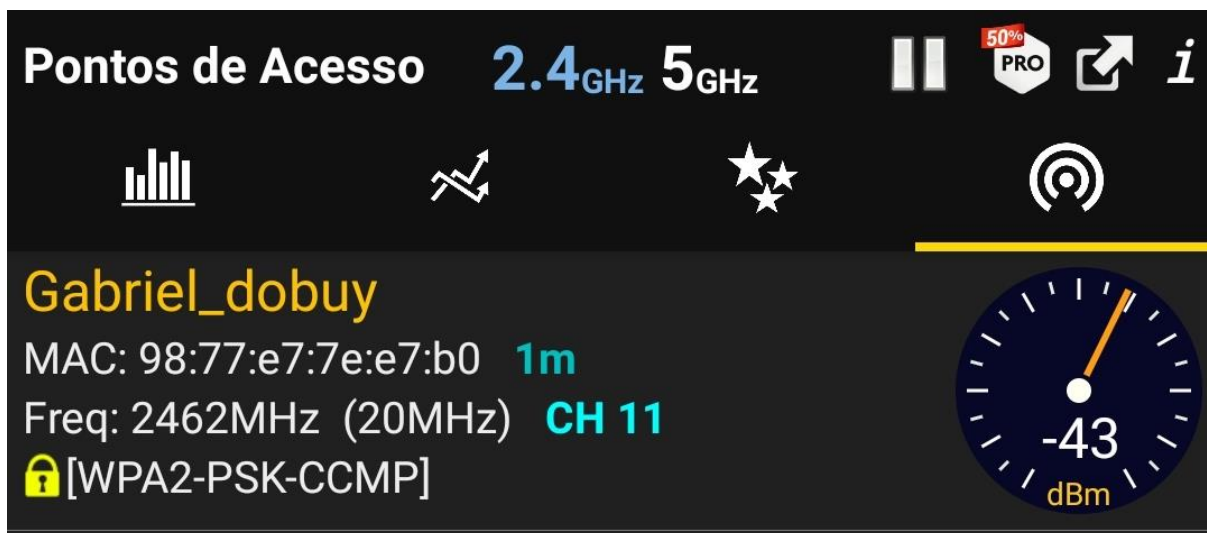


Figura 12: Topologia *Mesh*

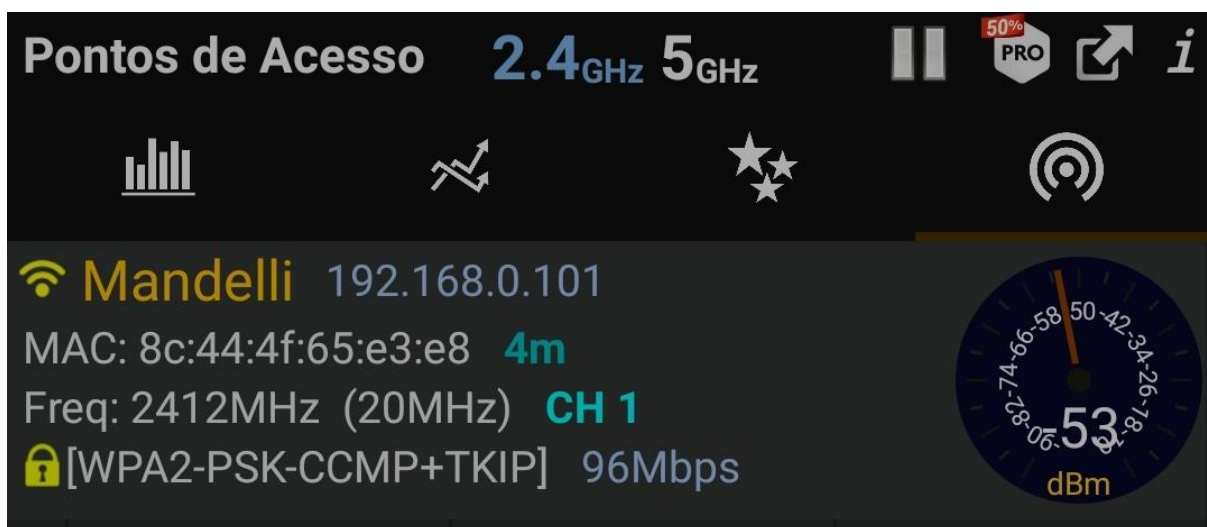


Figura 13: Topologia *Árvore*

Para ter mais proximidade na distância de sinal, os testes foram realizados com alcance de até 5M e ambas as redes estando no melhor canal de frequência conectados. Como os valores medido em *dBm* são negativos, percebe-se que na topologia *mesh* a potência do alcance de sinal é melhor em -10 *dBm*, isso se dá pelo fato da topologia *mesh* sempre criar novos nós para cada conexão estabelecida garantindo assim uma melhor potência diferente da topologia *árvore* que apenas

distribui e replica o sinal do roteador de borda, tendo assim, uma potência de sinal inferior.

4.7 Representação Prática: Teste de caminhos de rotas

```
(base) MacBook-Air-de-pedro:~ pedrogabriel$ traceroute google.com
traceroute to google.com (142.250.218.46), 64 hops max, 52 byte packets
 1 192.168.0.1 (192.168.0.1) 31.139 ms 2.784 ms *
 2 10.15.0.1 (10.15.0.1) 13.581 ms 11.749 ms 10.605 ms
 3 bfbbe06e.virtua.com.br (191.187.224.110) 12.302 ms 10.501 ms 10.963 ms
 4 embratel-t0-0-0-uacc01.ctamc.embratel.net.br (200.212.114.129) 17.944 ms 19.842 ms 17.677 ms
 5 ebt-h0-1-0-0-agg03.rjo.embratel.net.br (200.244.18.8) 43.431 ms
   ebt-h0-9-0-0-tcore01.ctamr.embratel.net.br (200.244.211.117) 47.504 ms
   ebt-h0-1-0-0-agg03.rjo.embratel.net.br (200.244.18.8) 46.507 ms
 6 peer-b54-agg03.rjo.embratel.net.br (201.39.52.58) 62.797 ms 48.902 ms
   ebt-b1421-tcore01.spo.embratel.net.br (200.230.231.62) 50.023 ms
 7 * * *
 8 ebt-h0-1-0-0-agg03.rjo.embratel.net.br (200.244.18.8) 49.594 ms 43.479 ms
   142.251.48.150 (142.251.48.150) 41.805 ms
 9 142.251.61.237 (142.251.61.237) 62.669 ms
   peer-b54-agg03.rjo.embratel.net.br (201.39.52.58) 42.092 ms 36.686 ms
10 108.170.248.225 (108.170.248.225) 56.160 ms
   108.170.248.241 (108.170.248.241) 59.245 ms *
11 142.251.61.237 (142.251.61.237) 53.994 ms * 47.255 ms
12 142.250.39.227 (142.250.39.227) 56.977 ms
   142.250.39.114 (142.250.39.114) 44.835 ms
   142.251.61.237 (142.251.61.237) 38.568 ms
13 * * 108.170.248.225 (108.170.248.225) 47.316 ms
14 142.251.61.239 (142.251.61.239) 64.993 ms * *
15 * * *
16 * * *
17 * * *
18 * * *
19 * * *
20 * * *
21 * * *
22 * * *
23 * * *
24 * * *
25 * * *
```

Figura 14: Topologia Árvore

```
26 * * *
27 * * *
28 * * *
29 * * *
30 * * *
31 * * *
32 * * *
33 * * *
34 * * *
35 * * *
36 * * *
37 * * *
38 * * *
39 * * *
40 * * *
41 * * *
42 * * *
43 * * *
44 * * *
45 * * *
46 * * *
47 * * *
48 * * *
49 * * *
50 * * *
51 * * *
52 * * *
53 * * *
54 * * *
55 * * *
56 * * *
57 * * *
58 * * *
59 * * *
60 * * *
```

Figura 15: Topologia Árvore

```

(base) MacBook-Air-de-pedro:~ pedrogabriel$ traceroute google.com
traceroute to google.com (142.251.129.78), 64 hops max, 52 byte packets
 1  192.168.0.1 (192.168.0.1)  9.996 ms  8.653 ms  8.840 ms
 2  10.43.128.1 (10.43.128.1)  21.027 ms  16.341 ms  20.955 ms
 3  bd0501b1.virtua.com.br (189.5.1.177)  17.448 ms  19.413 ms  20.701 ms
 4  embratel-t0-4-0-2-4003-uacc01.cas.embratel.net.br (201.64.169.9)  25.075 ms
    23.285 ms  23.039 ms
 5  ebt-h0-1-0-0-agg03.rjo.embratel.net.br (200.244.18.8)  30.974 ms  31.820 ms
    30.202 ms
 6  peer-b54-agg03.rjo.embratel.net.br (201.39.52.58)  31.151 ms  31.121 ms  31.
    832 ms
 7  * * *
 8  142.251.48.154 (142.251.48.154)  32.948 ms
    142.251.61.236 (142.251.61.236)  30.460 ms  30.833 ms
 9  108.170.248.242 (108.170.248.242)  30.124 ms
    216.239.42.153 (216.239.42.153)  30.555 ms
    108.170.248.226 (108.170.248.226)  30.478 ms
10  142.250.39.113 (142.250.39.113)  29.640 ms  30.329 ms
    142.250.39.225 (142.250.39.225)  31.925 ms
11  216.239.42.153 (216.239.42.153)  27.876 ms  33.088 ms
    rio07s07-in-f14.1e100.net (142.251.129.78)  36.445 ms
(base) MacBook-Air-de-pedro:~ pedrogabriel$ █

```

Figura 16: Topologia *Mesh*

No teste realizado na topologia árvore percebe-se que o teste não é completado, pois diante da configuração da topologia a rede não consegue definir um caminho exato até o *google.com*, mesmo tentando mais de sessenta saltos e fazendo três tentativas de conexão em cada salto, isso ocorre pois a topologia árvore não consegue encontrar um caminho inteligente e pré-definido para que os saltos até um servidor final específico sem a perda de conexão e ao invés disso fica buscando em vários sub caminhos uma forma de se conectar até que a conexão seja expirada. Na topologia *mesh* acontece o oposto pois é definido pelos nós da rede um caminho inteligente diante da tecnologia *beamforming* em que define o caminho mais curto e rápido entre dispositivo e servidor final sem que haja perda de conexão, gerando assim um caminho curto e eficaz.

4.8 Representação Prática: Teste de Velocidade

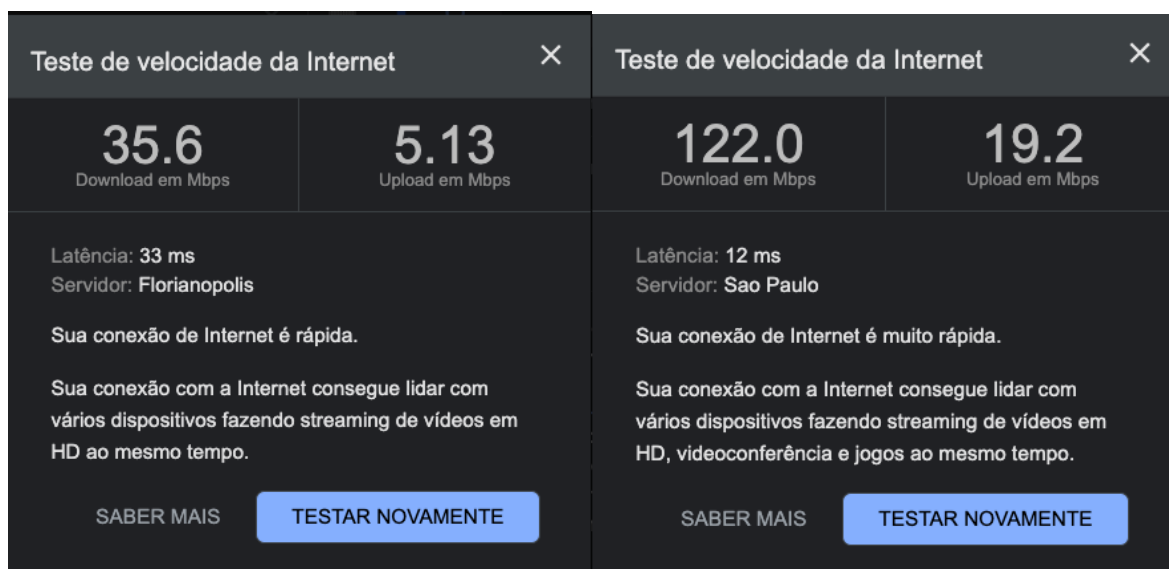


Figura 17: Topologia Árvore

Figura 18: Topologia *Mesh*

Como a topologia árvore é configurada para trabalhar com replicação de sinal, a velocidade está totalmente ligada ao alcance da rede e por haver menor alcance do que a topologia *mesh* que é configurada para a criação de novos nós a cada novo roteador e nova conexão, a velocidade é bastante reduzida quando um dispositivo se conecta ao repetidor tendo uma diferença de 35.6 *mbps* de download e 5.13 *mbps* de upload da topologia árvore para 122 *mbps* de download e 19.2 de upload da topologia *mesh*, sendo que, a *internet* contratada em ambas as redes é de 150 *mbps* para download e 20 *mbps* para upload. A perda de velocidade em repetidores para a topologia árvore é de 76,26% para *download* e 74,35% para *upload* enquanto na topologia *mesh* é de 18,66% para *download* e 4% para *upload*.

4.9 Representação Prática: Teste de envio e recebimento de pacotes via protocolo UDP

```

udp:
  5118368 datagrams received
    0 with incomplete header
    0 with bad data length field
    3 with bad checksum
    67 with no checksum
    5109155 checksummed in software
      4443340 datagrams (2658673468 byte) over IPv4
      665815 datagrams (311839640 bytes) over IPv6
    5060 dropped due to no socket
    13136 broadcast/multicast datagrams undelivered
    0 time multicast source filter matched
    9 dropped due to full socket buffers
    0 not for hashed pcb
    5100160 delivered
  1583557 datagrams output
    1583361 checksummed in software
      1075175 datagrams (126809561 bytes) over IPv4
      508186 datagrams (132937044 bytes) over IPv6

```

Figura 19: Topologia *Árvore*

```

udp:
  5218156 datagrams received
    0 with incomplete header
    0 with bad data length field
    3 with bad checksum
    69 with no checksum
    5208208 checksummed in software
      4458488 datagrams (2665880447 byte) over IPv4
      749720 datagrams (392247265 bytes) over IPv6
    5509 dropped due to no socket
    13574 broadcast/multicast datagrams undelivered
    0 time multicast source filter matched
    10 dropped due to full socket buffers
    0 not for hashed pcb
    5199060 delivered
  1640013 datagrams output
    1639541 checksummed in software
      1095073 datagrams (129260646 bytes) over IPv4
      544468 datagrams (143191515 bytes) over IPv6

```

Figura 20: Topologia *Mesh*

De todos os testes realizados, o teste de envio e recebimentos de pacotes via protocolo *UDP* é o que mais aproxima da equidade em relação aos dados comparativos entre as duas topologias, a grande diferença que é uma vantagem para a topologia *mesh* é a quantidade maior de pacotes enviados e recebidos, muito pelo fato do seu método de conexão na construção dos nós, permitindo assim que

houvesse mais ligações entre dispositivo e rede no envio e recebimento de pacotes, a diferença em pacotes recebidos foram quase cem mil e no envio de pacotes foram mais de cinquenta e sete mil.

5. Conclusão

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise comparativa entre redes de topologia *mesh* e redes de topologia árvore em âmbito *wireless*, verificando os principais pontos entre ambas as redes em relação as características de conexão, funcionamento, método de comunicação entre clientes e roteadores, protocolos e ambientes de utilização.

Baseado nos estudos científicos a topologia *mesh* tem como características a resposta instantânea, pois toda sua estrutura é voltada para garantir o alto desempenho junto com a alta disponibilidade em todos os equipamentos conectados, pois seus protocolos são trabalhados para que cada roteador e dispositivo tenha seu nó e possa percorrer seu caminho distinto sem que haja interferência ou congestionamento além de prover em média a mesma velocidade, alcance de sinal, latência a todos.

Foi realizado também testes práticos para que se obtivesse dados mais consistentes sobre as etapas do processo para diferenciação entre as redes estudadas e foi constatado que para ambiente *wireless* em relação a disponibilidade, redundância, velocidade, alcance e latência a melhor topologia a se usar é a *mesh*.

Desta forma a topologia *mesh* é a melhor forma de conexão *wireless* visto que a conexão se dá de forma direta sem passar por um ponto central para que possivelmente tenha maior disponibilidade e desempenho. A partir da pesquisa sobre esse tema é possível identificar quais as soluções a rede *mesh* pode trazer no ambiente *wireless*, além de entender como essa topologia funciona tanto logicamente quanto fisicamente e salientar as principais diferenças dessa topologia para a topologia em árvores.

6. Referências Bibliográficas

BADIS, H. and Al Agha, K. “**An Efficient QOLSR Extension Protocol for QoS in Ad Hoc Networks**”, IEEE Vehicular Technology Conference, Setembro, 2004.

DE LIMA CABRAL, Alexandre; ROBERTO SERAGGI, Marcio; **Redes de computadores teoria e prática**. ed. Senac: setembro, 2017.

FERNANDES DE MORAES, Alexandre; **Redes de computadores**. 2. ed. Érica: setembro, 2020.

HAQ, A., NAVEED, A., Kanhere, S: “**Securing Channel Assignment in Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks**”. IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the WCNC 2007 proceedings, 2007.

KUROSE, Jim; ROSS, Keith; **Redes de computadores e a internet uma abordagem top down**. 6. ed. Pearson: agosto, 2013.

S. TANENBAUM, Andrew; **Redes de computadores**. 2. ed. Pearson: maio, 2011.

SANTOS, Edimar Babilondos, FIGUEIREDO, Pedro Soares, FERRAZ, Thiago Freitas de Guimarães, ASSIS, Redes de Computadores I, **Redes sem Fio em Malha** – Universidade Federal do Rio de Janeiro - Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/malha/implementacoes.html>- Acessado em: 14/03/2021.

COMER, Douglas E. **Redes de Computadores e Internet**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

STALLINGS, William. **Redes e sistemas de comunicação de dados: teoria e aplicações corporativas**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CARMONA, Tadeu; HEXSEL, Roberto A. **Universidade Redes: Torne-se um especialista em redes de computador**. São Paulo: Digerati Books, 2005.