

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFIGURAÇÃO E GERENCIAMENTO DE  
SERVIDORES E EQUIPAMENTOS DE REDE**

FABIANO PIRES DA SILVA

**MPLS (Multi Protocol Label Switch) para Redes PTN**

MONOGRAFIA

CURITIBA  
2013

FABIANO PIRES DA SILVA

**MPLS (Multi Protocol Label Switch) para Redes PTN**

Monografia apresentada como requisito para a obtenção do grau de Especialista em Configuração e Gerenciamento de servidores e equipamentos de rede, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Redes de Computadores  
Orientador: Mestre Juliano de Mello Pedroso

CURITIBA  
2013

## RESUMO

Este trabalho objetiva a descrição e o estudo da evolução das redes de telecomunicações e suas melhorias, até a tecnologia atualmente mais moderna nas redes dos provedores de serviços, o MPLS. A internetwork trata-se da união de redes individuais, conectadas por dispositivos, que funciona como uma única grande rede eficiente e efetiva, mas com o desafio de suportar a comunicação entre diferentes tecnologias. Modelos de referência e padrões foram desenvolvidos e são descritos neste trabalho, até o Internet Protocol (IP), base da Internet, mas que não provê a qualidade de serviço necessária para gerenciar aplicativos de vídeo, voz sobre IP e outros. Essa exigência é suprida pelas redes ATM, mas existem problemas de escalabilidade. Assim, o MPLS é descrito como uma melhoria dos métodos de encaminhamento de pacotes pela rede utilizando rótulos anexados aos pacotes IP, células ATM ou quadros. Conclui-se que o benefício real do MPLS é que pode ser utilizado sobre qualquer meio e em qualquer camada que possa transmitir pacotes, com suas técnicas implantadas.

Palavras-chave: MPLS. Pacote de Transporte. Rede.

## **ABSTRACT**

This work concentrates on describing the evolution of telecommunication networks and its improvements, until the most modern technology nowadays in service provider's backbones, the MPLS. An internetwork is a collection of individual networks, connected by intermediate networking devices, that functions as a single large efficient and effective network, but with the challenge of supporting communication among disparate technologies. Reference models and standards were created and are described in this work, until the Internet Protocol (IP), the underlying fabric of the Internet. In order to manage the multitude of applications such as streaming video, Voice over IP (VoIP), and others, a network requires Quality of Service (QoS) provided by networks Layer 2, such as ATM, but there were scalability problems. Thus, MPLS is described as an improved method for forwarding packets through a network using information contained in labels attached to each IP packet, ATM cell, or Layer 2 frame. In conclusion, the real benefit to the use of MPLS is that it can be used on any media at any layer that can pass data packets, with its techniques being implemented in service provider networks without.

Keywords: MPLS. Package Transportation. Network.

## GLOSSÁRIO

ATM - Asynchronous Transfer Mode

CSMA - Carrier Sense Multiple Access

FDDI - Fiber Distributed Data Interface

HUBS - Concentradores

IP - Internet Protocol

LAN - Local Área Network

LER - Label Edge Router

LLC - Logical Link Control

LSP - Label Switch Path

MAC - Macintosh Operating System

MPLS - Multiprotocol Label Switching

MCC - Canal de Gerência

SCC - Canal de Sinalização

SSM - Mensagem de Sincronismo

SDH - Synchronous Digital Hierarchy

SFD - Start Frame Delimiter

STM-N - Synchronous Transport Module

TCP - Transmission Control Protocol

TDM -Tráfego Determinístico

TUs - Tributary Unit

UTP - Unshielded Twisted Pair

VC - Virtual Circuit

VPN - Virtual Private Network

VPs - Virtual Path

WAN – Wide Área Netw

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Switch</i> (a) simples e (b) com buffer .....	15
Figura 2 - Modelo da arquitetura Ethernet.....	16
Figura 3 - Estrutura do frame Ethernet .....	16
Figura 4 - Exemplo de rede IP baseada em núcleo ATM .....	19
Figura 5 - Ligações interna de um <i>Switch</i> .....	22
Figura 6 - Comunicação entre roteadores.....	23
Figura 7 - Principais elementos do MPLS .....	24
Figura 8 – Cabeçalho MPLS .....	25
Figura 9 - Topologias MPLS.....	27
Figura 10 - Topologia de uma rede MPLS.....	28
Figura 11 - Arquitetura de um Nó MPLS/IP .....	29
Figura 12 - Roteamento.....	30
Figura 13 - Arquitetura MPLS.....	31
Figura 14 - Estrutura PTN .....	37
Figura 15 - Comparação dos modelos de redes .....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1 OBJETIVO GERAL.....	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
1.3 METODOLOGIA.....	9
1.4 JUSTIFICATIVA .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
2.1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS .....	11
2.2 REDES DE TRANSPORTE.....	12
2.2.1 SDH de nova geração .....	12
2.3 REDE ETHERNET.....	14
2.3.1 Quadro Ethernet.....	16
2.3.2 Roteamento.....	17
2.3.3 Switches.....	21
2.3.3.1 Roteadores.....	22
2.4 MPLS.....	24
2.4.1 O cabeçalho do MPLS.....	24
2.4.2 Arquiteturas de dispositivos MPLS .....	28
2.5 MPLS-TP .....	31
2.6 REDES OTN .....	33
2.6.1 Benefícios do MPLS.....	34
2.6.2 Elementos MPLS .....	36
2.7 REDES PTN.....	36
2.8 MODELOS DE REDE BANDA LARGA .....	38
<b>3 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o interesse por tecnologias para a comunicação em rede IP vem aumentando substancialmente. A tecnologia *BackBones* IP das Operadoras de Telecomunicações no Mercado Brasileiro é uma tendência mundial e vem sendo utilizado principalmente para baixar o custo da telefonia convencional.

As vantagens mais relevantes na utilização do MPLS são a facilidade de engenharia de tráfego, permitindo direcionar fluxos de dados específicos para caminhos menos congestionados, e a implementação de redes virtuais privadas (VPNs), que através da pilha de rótulo se torna bastante simplificada.

As principais redes de transporte atuais são:

- SONET/SDH;
- DWDM;
- OTN;
- IP/ MPLS;
- ETHERNET.

Importante ressaltar neste sentido que a banda larga e sua difusão quanto a rede de transporte entre o Mobile 3G/4G, o *Cloud Computing*, a *Internet*, os *Games on line*, assim como todos os demais recursos causam desafios e transformações nas redes.

As motivações do MPLS são a obtenção de maior escalabilidade na rede, mais rapidez no encaminhamento de pacotes, integração IP + ATM, engenharia de tráfego, redes virtuais privadas MPLS e qualidade de serviço. A integração IP + ATM é importante devido ao legado existente nas redes dos provedores de serviços, que acreditavam que o ATM seria a tecnologia dominante nas redes WAN e LAN. Isso não ocorreu nas redes LAN devido ao alto custo dos dispositivos ATM para computadores, o que tornou necessária uma tecnologia que unificasse os benefícios do protocolo de rede IP, amplamente difundido, com os equipamentos ATM existentes.

Este trabalho visa estudar a tecnologia da Rede MPLS e também analisar como evoluirá essa tecnologia e qual será a tendência de evolução das mesmas

para rede de transportes atuais tais estudos e análises visam estabelecer conhecimentos sobre as tecnologias, processos e os consequentes benefícios de sua utilização em ambientes corporativos.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a tecnologia da rede MPLS e verificar seu funcionamento, utilização, benefícios e a evolução tecnológica atual da mesma. Além disso, analisar qual será a próxima etapa evolutiva dessa tecnologia e como influenciará provedores de serviços e seus usuários finais.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Funcionamento da tecnologia atual Rede MPLS;
- Estudar e entender a evolução atual e futura dessa tecnologia;
- Analisar e avaliar seus benefícios;
- Identificar serviços, para a tecnologia atual e futura, que podem ser agregados a Rede MPLS;

### 1.3 METODOLOGIA

O trabalho, por meio de pesquisa bibliográfica irá comparar e analisar as informações contidas nas bibliografias selecionadas de acordo com o tema proposto.

O trabalho deste projeto tem caráter exploratório tendo como objetivo fazer investigação que visam familiarizar com o ambiente do projeto, obtendo uma visão geral a cerca de um determinado fato, a base conceitual e a referência teórica para atrair os objetivos do estudo.

De acordo com a abordagem do problema, esta pesquisa é qualitativa, porque se considera uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, ou seja, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. O ambiente natural é a fonte direta para a coleta de

dados e o pesquisador é o instrumento chave. Uma parte do trabalho é descritiva, pois tende a analisar seus dados indutivamente.

Seguindo o preconizado em Lakatos (1999) o trabalho foi desenvolvido como uma pesquisa bibliográfica, que procura explicar um problema, a partir de referências teóricas publicadas em documentos.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

No início do surgimento das redes de dados, o transporte da informação no formato de pacotes utilizava a rede telefônica como meio de transmissão. Porém, limitações causadas pelas inadequações da rede dimensionadas para o transporte de voz e não de dados, como pequenas taxas de transmissão, motivaram o surgimento de técnicas que aumentassem essa capacidade. A evolução das redes de telecomunicações é baseada no aumento da utilização de aplicativos que cada vez exigem maiores taxas de transmissão

Desde a criação e introdução comercial em 1992, a *Internet* cresceu rapidamente de uma rede de pesquisa para uma rede mundial de comunicação, se tornando um meio conveniente e rentável para a colaboração do usuário, aprendizado, comércio eletrônico e entretenimento. É consenso comum que a *Internet* se tornou um meio no qual voz, vídeo e comunicações de dados se convergem, crescendo em termos de largura de banda, dimensão geográfica e volume de tráfego. Consequentemente, as redes de telecomunicações evoluíram para suportar essas demandas que exigiam cada vez mais garantias de qualidade de serviço.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir estão apresentados os tópicos da literatura que foram estudados, com base em livros, sites especializados, artigos científicos e de revistas, bem como filmes e outros materiais.

Foram escolhidos com base em assuntos que dessem um embasamento para o entendimento do trabalho.

### 2.1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

A Internet é um fenômeno recente, porém sua influência no dia-a-dia é cada vez mais notada. A utilização comercial da Internet no Brasil começou há mais de quinze (15) anos e tem mostrado evolução extremamente rápida. O entendimento de seus aspectos técnicos é facilitado por diversos cursos na área que apresentam com detalhes os fundamentos tecnológicos necessários para entender o funcionamento básico da rede. Assim, para a comunidade científica e tecnológica, não há necessidade de explicação técnica mais aprofundada.

Daí ser possível observar que a tecnologia que utiliza o protocolo da Internet ou IP (*Internet Protocol*) vem se consolidando no setor de telecomunicações e facilitando a convergência por meio de um novo paradigma “tudo sobre IP”: voz sobre IP, vídeo sobre IP e dados sobre IP (TRONCO, 2006).

Desse modo, com o desenvolvimento da tecnologia de transmissão de dados, o mercado tem trabalhado com a convergência das redes de dados com as redes de telecomunicações. Nos últimos anos, o avanço da eletrônica permitiu a criação de circuitos mais rápidos, máquinas com maior capacidade de processamento e enlaces de alta velocidade. Estes fatores permitiram que fosse possível a transmissão de voz e vídeo trafegando em uma infraestrutura IP, como na própria Internet ou em redes corporativas.

## 2.2 REDES DE TRANSPORTE

De acordo com Figueiredo e Rothenberg (2010), as Redes da Próxima Geração representam uma nova estrutura com aplicações que convergem a uma plataforma de interfaces abertas que integra as diferentes redes de computadores, seja uma rede cabeada ou sem fio, local ou de longa distância, rede corporativa ou de infraestrutura pública. Atualmente as redes de telecomunicações suportam serviços de voz e dados utilizando plataformas independentes.

Um dos objetivos das Redes de Próxima Geração é a utilização de uma plataforma de transporte comum, que integre dados, voz e vídeo, para que trafeguem em um mesmo canal. Com base nessa estrutura, foi desenvolvido o conceito *Triple Play* que promove a interoperabilidade de tecnologias distintas de acesso a banda larga, gerando serviços convergentes entre as tecnologias de acesso fixo e móvel (FIGUEIREDO e ROTHENBERG, 2010).

Para que uma rede se comunique de maneira eficiente é necessário uma estrutura formal e lógica, ou melhor, uma arquitetura de protocolo. Para Stallings (2005, p.425) arquitetura de protocolo é “[...] a estrutura de software que implementa a função de comunicações. Normalmente, a arquitetura de protocolo consiste em um conjunto de camadas de protocolos”. A rede de transporte é uma plataforma tecnológica que assegura uma transferência transparente e confiável da informação à distância, permitindo suportar diferentes serviços:

- A rede de transporte garante diferentes funcionalidades de transmissão, multiplexagem, encaminhamento, proteção, supervisão e provisionamento de capacidade.
- A rede de transporte é constituída por diferentes elementos de rede ligados entre si segundo a certa topologia física (anel ou malha) e interagindo diretamente com o plano de gestão.

### 2.2.1 SDH de nova geração

A tecnologia SDH (G.707) é hoje bem padronizada e estabelecida, com uma grande variedade de mecanismos de proteção e de interfaces (de 2 Mbps a 10

Gbps). Entretanto, o modo de transporte SDH é ineficiente para o tráfego de dados, devido à natureza estatística destes (AGUIAR, 2005).

Existem alternativas evolutivas de uso do SDH para se adequar à natureza estatística do tráfego segundo Cintra (2009):

- VC (Virtual Circuit) inteiramente dedicado para o tráfego ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) ou IP: este tipo de alternativa não permite o reuso do VC por outro tipo de tráfego (por exemplo, o tráfego determinístico – TDM).

- ATMoSDH (ATM sobre SDH): mapeamento dos VPs (*Virtual Path*) do ATM nos VCs do SDH.

- IPoATMoSDH (IP sobre ATM sobre SDH): o pacote IP é mapeado em duas células ATM de 53 octetos e depois mapeado no SDH. O resultado é uma baixa eficiência devido às perdas com os *overheads* adicionados pelas camadas.

- IPoSDH: o *payload* do SDH é preenchido com o protocolo PPP (*Point-to-point Protocol*), aumentando a eficiência, mas sem transportar tráfego TDM e células ATM.

A concatenação virtual é um mecanismo de encadeamento de entidades de transporte, para cargas que exigem capacidades maiores que os VCs especificados e permite transportar vários tipos de tráfego através da formação de agregados de tamanhos mais eficientes (por exemplo, 5 x VC-12 = 10 Mbps). A desvantagem deste tipo de alternativa é a alocação estática do agregado virtual (KUROSE, 2006).

Os *containers* virtuais padronizados podem ser utilizados para formar o quadro STM-N (*Synchronous Transport Module*). Os sinais 2 / 34 / 140 Mbit/s são mapeados nos *containers* virtuais e depois adicionados *bytes* de supervisão formando os VCs e ponteiros formando as unidades tributárias TUs (*Tributary Unit*). Vários TUs formam os TUGs (*Tributary Unit Groups*), que são inseridos nos *containers* virtuais de ordem superior denominado AUs (*Administrative Unit*) (FERREIRA, 2010), bem como em vantagens e desvantagens apresentadas pelo autor:

**- Vantagem:**

- Compatibilidade com as técnicas ATM,
- Facilidades para mistura de sinais de hierarquias diferentes em um módulo STM-1,
- Compatibilidade elétrica e óptica entre os equipamentos dos vários fornecedores,

- Padronização bem conceituada.
- **Desvantagem:**
  - Alto custo,
  - Sistema de gerência para cada tipo de equipamento,
  - Operação da rede complexa.

### 2.3 REDE ETHERNET

A evolução dos equipamentos de informática não foi algo que aconteceu rapidamente.

Os equipamentos foram ficando cada vez mais potentes e ao mesmo tempo tornando-se mais indispensáveis para as empresas e instituições. Cada vez mais se utilizam computadores para agilizar tarefas do dia a dia através de ferramentas sofisticadas. Para muitas empresas surgiu a necessidade de que os computadores estivessem ligados de alguma forma aos demais equipamentos existentes dentro da corporação, otimizando tempo e recursos através do compartilhamento de impressoras e unidades de *backup*, não sendo privilégio de alguns, e sim, estando disponível para todos os usuários (GOETEN, 2001).

Grande parte dos usuários de redes não entende porque precisam dela e, perguntam-se porque não podem ter os equipamentos desejados em suas máquinas. A falta de treinamento destes usuários da rede também pode levar ao uso inadequado da mesma, sobrecarregando-a e conseqüentemente deixando-a mais lenta. Outro aspecto importante é que na maioria dos casos, as redes não estão somente instaladas em ambientes de trabalho que têm a informática como sua principal ferramenta (SZTAJNBERG, 1996).

As redes prestam serviços fundamentais na maioria das organizações. As atividades de algumas dessas organizações se tornam inviáveis se os serviços prestados pela rede não estiverem disponíveis ou se forem prestados com tempos de resposta acima de determinados limites. À medida que as redes locais crescem e se interligam com redes de outras organizações, torna-se necessária a utilização de sistemas que facilitem sua gerência (ALBUQUERQUE, 2001).

Por muitos anos, tem sido utilizada em plantas industriais conectando diferentes áreas, mas sua aplicação a níveis de chão de fábrica era proibitiva por uma soma de diversos fatores, como caráter não determinístico, considerada

inapropriada para ambientes agressivos, falta de imunidade a ruídos, conectores impróprios (COMER, 1999).

Na versão original, a operação era afetada pelas colisões que ocorriam sempre que havia envio simultâneo de duas ou mais estações para o mesmo endereço. A ocorrência de colisões tornava o protocolo não determinístico e desencorajava seu uso (GOETEN, 2001).

Para melhorar ainda mais o desempenho, faz-se o uso de *switches* com buffer, uma vez que o buffer estoca as mensagens e as envia para seus destinos ordenadamente. Conforme pode ser visto na Figura 1, há um redirecionamento correto das mensagens feito pela *switch* com buffer e nota-se a presença de colisões na *switch* sem buffer.

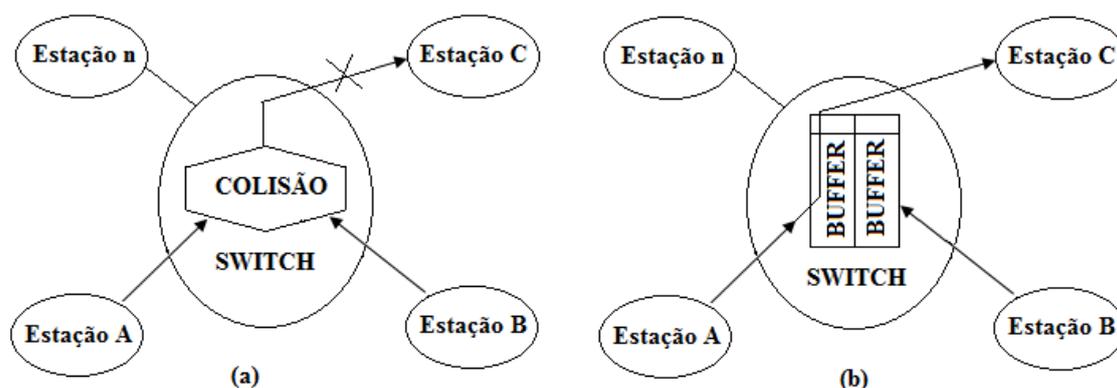


Figura 1- *Switch* (a) simples e (b) com buffer.  
Fonte: Goeten (2001).

Além do uso de hardwares especialmente projetados, há uma grande quantidade de softwares dedicados a cuidar do transporte de dados, gerenciamento da rede, endereçamento, redundância e segurança disponíveis no mercado, o que faz da Ethernet uma tecnologia madura e já dominada (LAUBACH, 1994).

Uma representação da arquitetura do padrão Ethernet é mostrada pela Figura 2, juntando a arquitetura do padrão Ethernet com o modelo OSI.

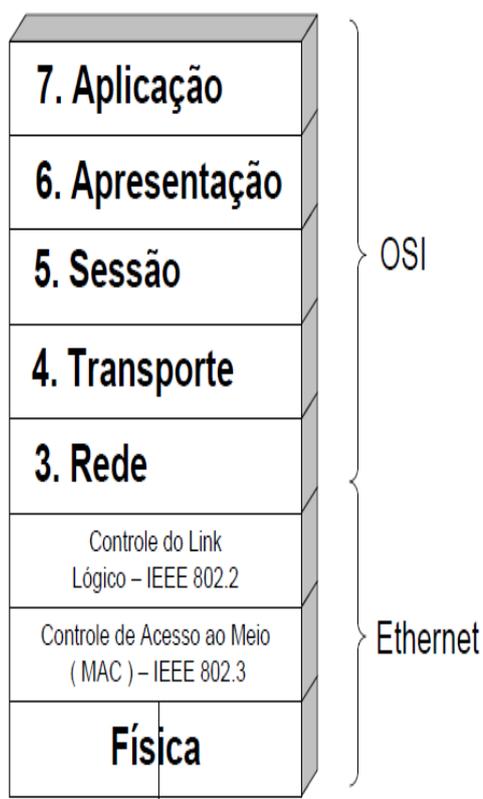


Figura 2 - Modelo da arquitetura Ethernet.  
Fonte: Tanenbaum (2003)

### 2.3.1 Quadro Ethernet

A estrutura do quadro Ethernet pode ser vista pela Figura 3. Este possui um cabeçalho de 22 bytes, uma área de dados que varia entre 46 a 1500 bytes e um final de 4 bytes (TRONCO 2006, p.23)

Preâmbulo ( 7bytes )	SFD ( 1byte )	MAC Destino ( 6 bytes )	MAC origem ( 6bytes )	Comprimento ( 2 bytes )	Dados do PAD ( de 46 a 1500 bytes )	FCS ( 4 Bytes )
-------------------------	------------------	-------------------------------	-----------------------------	----------------------------	---	--------------------

Figura 3 - Estrutura do frame Ethernet.  
Fonte: Tronco (2006)

Resumidamente, os campos existentes no frame são:

- Preâmbulo: marca o início do frame;
- SFD (*Start Frame Delimiter*): é um byte 10101011;
- Endereço MAC de destino;
- Endereço MAC de origem;
- Comprimento: indica quantos bytes estão sendo transferidos no campo de

dados;

- Dados: possui comprimento mínimo de 46 bytes e máximo de 1500 bytes;
- Pad: se a camada LLC enviar menos do que 46 bytes de dados, são inseridos os chamados Pad para que o campo de dados atinja o seu tamanho mínimo de 46bytes;

### 2.3.2 Roteamento

A mais importante função da camada de rede com certeza é o de roteamento de pacotes de dados, desde sua trajetória de origem até seu destino, podendo necessitar de vários loops até ser cumprido. Para tanto existem vários tipos de algoritmos que implementam políticas de escolha de rotas adequadas, a estrutura de dados e manutenção dos mesmos. Os algoritmos de roteamento podem ser classificados da seguinte maneira segundo Comer (1998):

- algoritmos não-adaptativos e adaptativos. Os algoritmos não-adaptativos ao estabelecerem suas rotas para os pacotes de dados, não utilizam qualquer tipo de estimativas ou medidas para escolher a melhor rota, tudo é decidido previamente. Este tipo de algoritmo é conhecido como encaminhamentos por rota fixa, caminhos alternativos são tomados somente em caso de falhas. Este método traz desvantagem por não tirar o máximo proveito da utilização do meio, mas ela leva vantagem pela sua simplicidade. O outro grupo de algoritmos de roteamento citado é o adaptativo, com características contrárias aos algoritmos do grupo não-adaptativos. Para os adaptativos, as questões de tráfego, mudanças na topologia são levadas em consideração. Para um melhor caminho poderá modificar rotas dos pacotes de dados. Ao realizar mudanças de rotas e escolhas de caminhos mais curtos é necessário realizar atualizações das tabelas de rotas periodicamente. Para tal procedimento existem várias maneiras para sua realização no modo centralizado, modo isolado e modo distribuído.

Quanto mais modificações existirem na rede, mais cálculos são necessários para manter atualizadas as rotas, proporcionando um aumento no processamento, fazendo que este método tenha baixo rendimento. Outro problema que podemos analisar para o modo de atualização de tabelas de rotas e o tráfego elevado, que pode se obter para as linhas que levam até o centro de controle centralizado de

atualização. Contudo se o tráfego for muito elevado, o desempenho deste modo de atualização fica a desejar. Existem outros problemas a enfrentar por este método, como o fato de o centro de controle estar com problemas físicos, isto resultará em problemas em toda rede. Este modo só é vantajoso se a rede for estável em mudanças na topologia, deste modo podemos ter um desempenho razoavelmente satisfatório (ABREU, 2004).

O segundo modo de atualização de tabelas de rotas a ser analisado é o modo isolado, para este método é analisada a fila de mensagem que aproveita estas informações para atualização das tabelas de rotas. Este modo de atualização tem um melhor desempenho combinado com as rotas fixas, ou seja, ao analisar as mensagens que contém as informações é levado em consideração o tamanho destas mensagens, e a partir daí analisado da seguinte maneira: no que diz respeito ao tamanho da mensagem, elas são encaminhadas para filas de menor tamanho e as mensagens que passarem deste tamanho são enviadas as rotas fixas. Outro algoritmo de roteamento isolado que pode ser citado tem a seguinte descrição: quando um pacote chegar a um determinado receptor, ele é encaminhado para todos os nós e aos enlaces de saída, exceto ao que ele chegou. Existem vários algoritmos de roteamento isolado, mas não serão analisados neste trabalho por não se fazer necessário (BATES, 2002).

É possível conectar os roteadores diretamente por ligações ponto a ponto ou redes locais (por exemplo, *hub* compartilhado), ou é possível conectá-los por *switches* LAN ou WAN (por exemplo, os *switches Frame Relay* ou ATM). Esses *switches* (LAN ou WAN) infelizmente não têm a capacidade de manter a informação de roteamento de Camada 3 ou de selecionar o caminho utilizado por um pacote através da análise de seu endereço de destino em Camada 3 segundo Comer (1998).

Deste modo, *switches* de Camada 2 (LAN ou WAN) não podem estar envolvidos no processo de decisão de encaminhamento em Camada 3. No caso de ambiente WAN, o projetista da rede tem que estabelecer caminhos virtuais em Camada 2 manualmente através da rede WAN. A partir destes pacotes de Camada 3 são encaminhados entre os roteadores que estão conectados fisicamente à rede de Camada 2 (BATES, 2002).

O estabelecimento de caminhos WAN em Camada 2 é complexo. Estes são normalmente baseados em conexões ponto a ponto (circuitos virtuais na maioria das

redes WAN) e são estabelecidos apenas mediante pedido e com configuração manual. Qualquer dispositivo de roteamento (roteador de entrada) na borda da rede de Camada 2 que queira encaminhar pacotes de Camada 3 para qualquer outro dispositivo de roteamento (roteador de saída), portanto, precisa estabelecer uma conexão direta na rede para o dispositivo de saída, ou enviar sua informação para um dispositivo diferente para transmissão até o destino final.

A rede ilustrada na Figura 4 é baseada em um núcleo ATM (Camada 2) rodeado por roteadores que desempenham o encaminhamento em camada de rede. Assumindo que as únicas conexões entre os roteadores são as apresentadas na figura, todos os pacotes enviado de São Paulo para, ou através, de Brasília devem ser enviados ao roteador de Curitiba, onde eles são analisados e enviados de volta sobre a mesma conexão ATM em Curitiba para o roteador de Brasília. Este passo extra introduz atrasos na rede e sobrecarrega desnecessariamente o processamento do roteador de Curitiba, bem como a conexão ATM entre o roteador e o *switch* ATM adjacente em Curitiba (TANEBAUM, 2003).

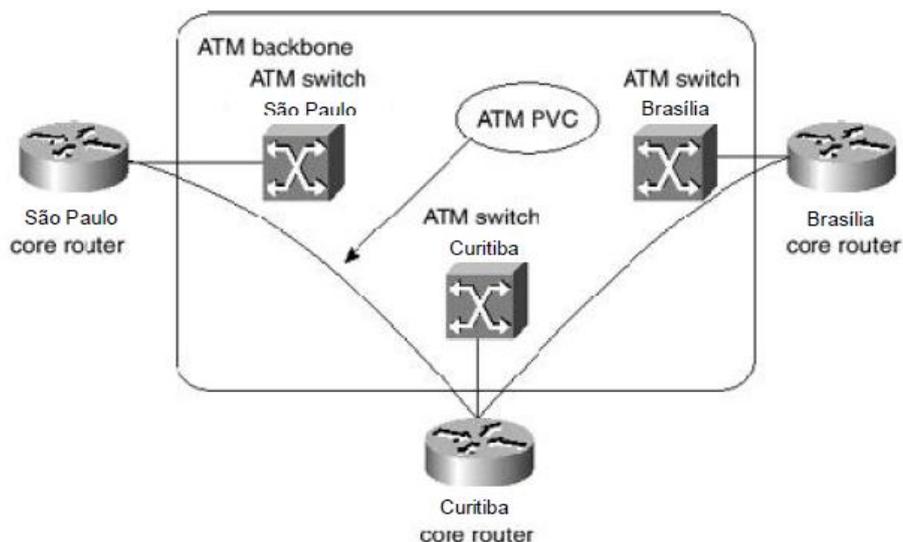


Figura 4 - Exemplo de rede IP baseada em núcleo ATM  
Fonte: Bates (2002)

Para garantir o melhor encaminhamento de pacotes na rede, um circuito virtual ATM deve existir entre quaisquer dois roteadores conectados ao núcleo ATM. Embora isto possa ser fácil de ser atingido em redes pequenas, como as da figura, vários problemas de escalabilidade surgem em redes grandes, nas quais muitos

roteadores se conectam ao mesmo núcleo WAN bem como os problemas de escalabilidade que podem ser encontrados segundo Bates (2002, p.7):

- Toda vez que um novo roteador é conectado ao núcleo WAN da rede, um circuito virtual deve ser estabelecido entre este roteador e quaisquer outros, para um roteamento ótimo;
- Com algumas configurações de protocolo de roteamento, todo roteador anexado ao núcleo WAN de Camada 2 (construído com *switches* ATM ou *Frame Relay*) precisa de um circuito virtual dedicado para qualquer outro roteador anexado ao mesmo núcleo. Para alcançar essa redundância, todo roteador também deve ter uma adjacência com cada roteador pertencente ao mesmo núcleo. Assim, se uma rede utiliza como protocolo de roteamento o OSPF, por exemplo, todos os roteadores transmitem cada mudança na topologia da rede para todos os outros roteadores conectados ao mesmo *backbone* WAN, resultando em um tráfego proporcional ao quadrado do número de roteadores;
- O provisionamento dos circuitos virtuais entre os roteadores é complexo, pois é muito difícil prever a exata quantidade de tráfego entre quaisquer dois roteadores na rede. Para simplificar, alguns prestadores de serviço optam pela falta de garantia de serviço na rede, que nas conexões ATM é chamada taxa de bit não especificada, ou *Unspecified Bit Rate* (UBR).

A falta de troca de informação entre os roteadores e os *switches* WAN não foi um problema para os prestadores de serviços tradicionais que utilizavam *backbones* compostos apenas por roteadores, ou para aqueles que forneciam apenas serviços WAN (circuitos virtuais ATM ou *Frame Relay*). Porém, muitos outros fatores impulsionaram a utilização de *backbones* mistos de acordo com Comer (1998, p.45) como:

- Prestadores de serviços tradicionais são convidados a oferecerem os serviços IP. Eles querem alavancar seus investimentos e basear estes novos serviços em sua infraestrutura WAN existente;
- Os prestadores de serviços foram solicitados a fornecer maiores garantias de qualidade de serviço, mais facilmente alcançadas com os *switches* ATM que com os tradicionais roteadores;

- As rápidas exigências em largura de banda antes da introdução de roteadores com interfaces ópticas forçaram algumas grandes operadoras a começarem a utilizar a tecnologia ATM devido às interfaces dos roteadores naquele tempo não fornecerem as velocidades oferecidas pelos *switches* ATM.

Assim, era evidente a necessidade de utilização de um mecanismo diferente para permitir a troca de informações da camada de rede entre os roteadores e os *switches* WAN, e tornar possível a participação dos *switches* nas decisões de encaminhamento dos pacotes de forma que a conexão direta entre os roteadores de borda não fosse mais necessária (BATES, 2002).

### 2.3.3 Switches

As redes podem ter vários tipos de topologias como estrela, anel, em barra etc. A topologia empregada pela rede pode exercer um papel fundamental na escolha no método de acesso aos meios físicos e compartilhados. Para exemplificar o que foi dito anteriormente, podemos citar a topologia em estrela, bastante usada atualmente, que determina um componente central para atuar como comutador, usualmente utilizado o *Switch* para essa tarefa. Desta forma, pode-se obter uma melhor gerência e manutenção das redes atuais, mas as redes de computadores que utilizam a topologia em estrela, antigamente enfrentavam problemas de segurança e baixa confiabilidade por ter um elemento central no qual seus problemas físicos e lógicos poderiam ocasionar a parada total da rede (BATES, 2002).

Nos dias atuais com o avanço na construção destes equipamentos, se reflete um baixo índice de problemas físicos e lógicos resultando em equipamentos estáveis e alta confiabilidade na rede que eles são inseridos (LAUBACH, 1994).

Os *switches* surgiram para aprimorar o desempenho e a funcionalidade dos equipamentos concentradores. Eles partem do princípio dos HUBs, mas agregam uma melhor tecnologia. Os *switches* proporcionam às estações não somente um meio de compartilhamento, mas também um meio de comunicação simultânea entre elas. Assim os switches têm a capacidade de atuar como um roteador ou como funções de pontes. A principal diferença dos switches sobre os HUBs são seus barramentos internos comutáveis que permitem chavear conexões, proporcionando,

se assim desejar, a comunicação entre dois pontos da rede dedicados exclusivamente para elas, aumentando seu desempenho, e suas multiportas, são capazes de alocar uma estação em cada porta ( BATES, 2002).

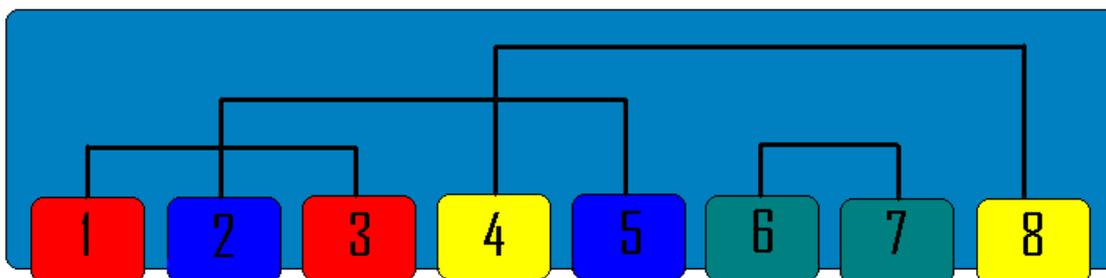


Figura 5 – Ligações interna de um *Switch*.  
Fonte: Bates (2002).

As estações atuam como entidades independentes. Deste modo as estações não ficam disputando meios de transmissão nas redes ethernet, que utilizam o protocolo CSMA/CD. Pode-se dizer que a transmissão é realizada sem colisões. Na Figura 5 podemos analisar como funcionam as ligações internas de um switch. A estação que está na porta 1 envia dados para a estação da porta 3, a estação da porta 2 envia dados para a estação da porta 5, a estação da porta 4 envia dados para estação da porta 8 e estação da porta 6 envia dados para estação da porta 7. Podemos verificar que para cada conexão existente, como podemos ver na Figura 5, a rede está todo tempo disponível, tudo isso graças ao chaveamento inteligente que é implementado pelo switch (ALOIA, 2000).

Os switches podem ser divididos em dois tipos básicos: os switches de Camada 2, ou seja, dispositivos que operam na camada física e de enlace, e switches de Camada 3, que atuam na camada de rede (BATES, 2002).

### 2.3.3.1 Roteadores

Os roteadores podem ser definidos como sendo equipamentos que interligam redes locais e redes remotas em tempo integral. Desta forma, os roteadores proporcionam a comunicação entre estações de diferentes redes locais. Para tanto, ele utiliza um protocolo de comunicação, usualmente o protocolo TCP/IP. A Figura 6 mostra a comunicação de duas redes locais utilizando roteadores. Os roteadores podem agregar diversas funcionalidades, como ser um elemento de decisão no que

se trata na hora de escolher o melhor caminho de um determinado pacote para seu destino, permitir o tráfego de diferentes protocolos, atuar como filtro de pacotes e gerador de estatísticas (SZTAJNBERG, 2007).

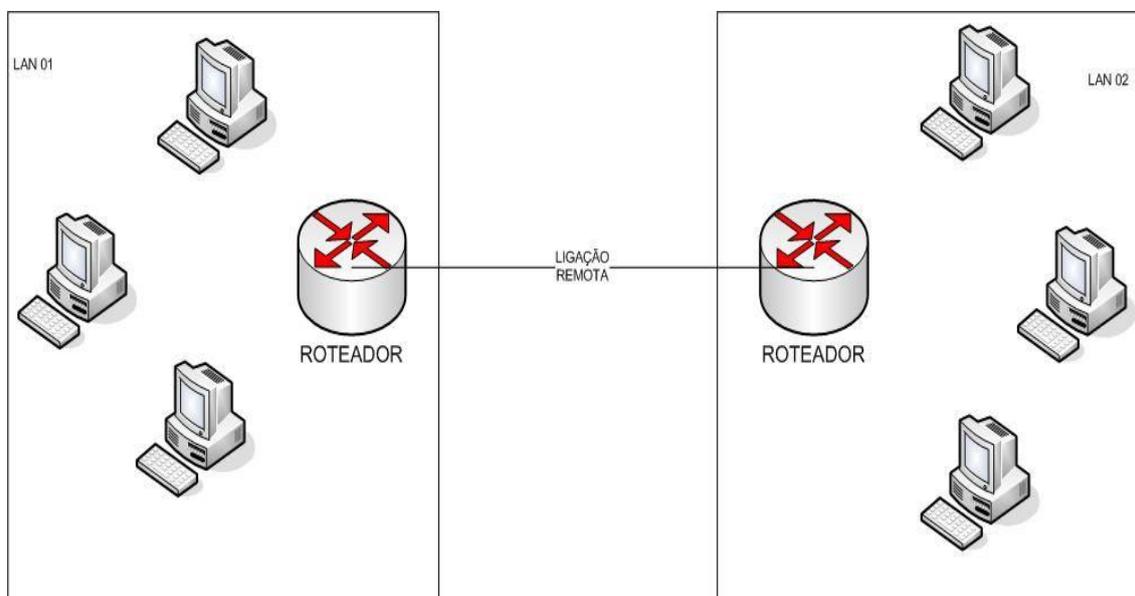


Figura 6 – Comunicação entre roteadores  
Fonte: Sztajnberg (2007)

Para haver comunicação entre redes locais é preciso definir as portas usadas para comunicação dos roteadores que são as portas UTP, FDDI ou AUI, utilizando para tanto, os protocolos como RS 232, RS 449 etc (SZTAJNBERG, 2007).

Os roteadores atuam nas três primeiras camadas do modelo de referência OSI, a camada física, de enlace de dados e de rede, implementando algoritmos de roteamento e uma série de regras como rotas estatísticas, rotas dinâmicas etc. No encaminhamento de pacotes, o roteador pode ser muito poderoso no tratamento de decisões de rotas. Com relação aos pacotes de dados, ele pode compreender informações complexas de endereços, contudo decidir o melhor caminho para seu destino, podendo complementar com mais informações no envio de determinado pacote de dados. As informações adicionais podem ser para um motivo específico ou somente informativo. Os roteadores, nas suas decisões de rotas, podem optar por esquemas de composições de pacotes e de acesso aos meios físicos completamente diferentes, mas para isso ele necessita ler as informações contidas nos pacotes, utiliza algoritmos de endereçamento para determinar a rota adequada, o encapsula novamente e o retransmite (ALOIA, 2000).

## 2.4 MPLS

O MPLS é classificado como um protocolo de comutação de pacotes baseado em troca de rótulos. As características desse protocolo fazem com que ao mesmo tempo consiga agregar a flexibilidade do IP com a confiabilidade dos circuitos virtuais.

A comutação por rótulo surgiu com o propósito de criar redes públicas com uma grande abrangência geográfica, fornecer flexibilidade de uso e suporte para múltiplos serviços (DAVIE, 2000). O funcionamento básico do MPLS consiste em realizar o roteamento dos pacotes de uma rede por meio de um rótulo de tamanho fixo. Por se tratar de um protocolo de roteamento multiprotocolo, pode atuar virtualmente com qualquer protocolo da camada de enlace (DAVIE, 2000).

A Figura 7 apresenta o contexto de MPLS WAN. Cada pacote trafegado em uma rede MPLS recebe um rótulo de um roteador conhecido como LER (*Label Edge Router*). O LER passa a encaminhar os pacotes para uma área conhecida como LSP (*Label Switch Path*). O caminho por onde trafegam os pacotes é formado por roteadores LSR (*Label Switch Routers*). Esses roteadores são responsáveis por tomarem decisões de encaminhamento, tendo como base apenas o rótulo de cada pacote (AWDUCHE, 1999).

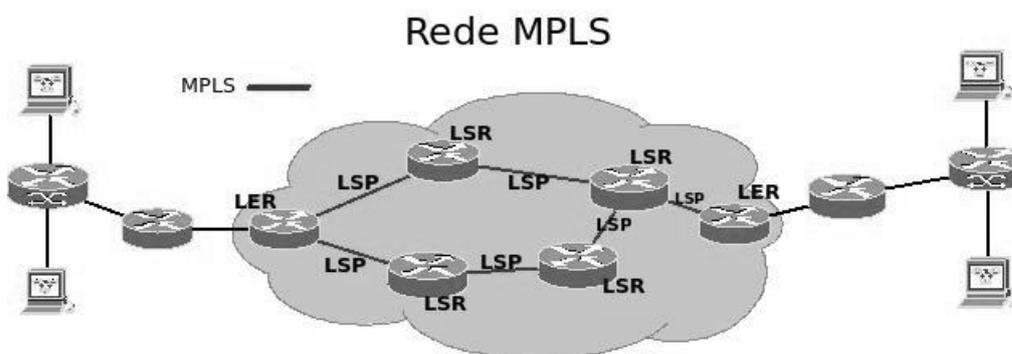


Figura 7 - Principais elementos do MPLS.  
Fonte: Awduche (1999)

### 2.4.1 O cabeçalho do MPLS

O cabeçalho MPLS está situado entre as Camadas 2 e 3. Com um tamanho de 32 bits, o cabeçalho MPLS tem os seguintes campos: LABEL, EXP, S, e TTL, conforme apresenta a Figura 8.

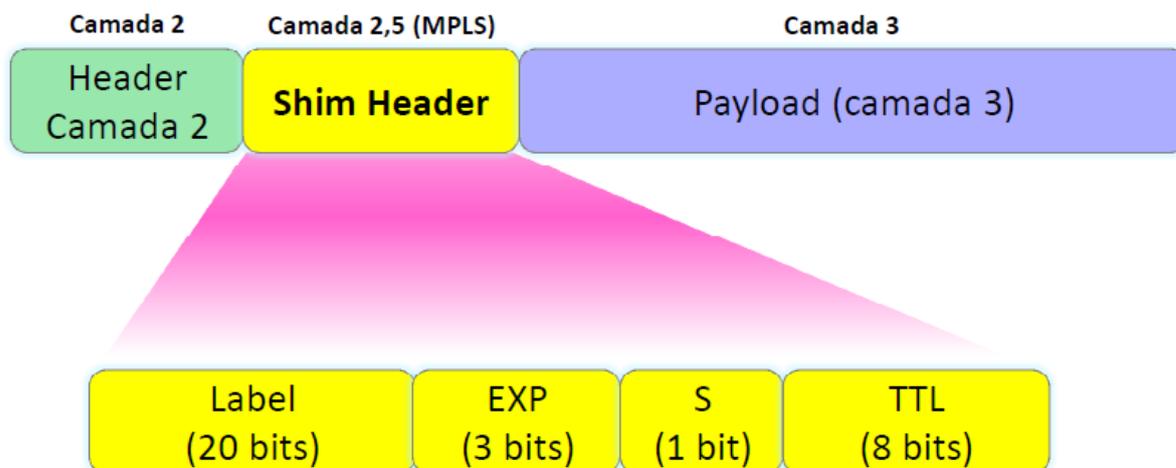


Figura 8 - Cabeçalho MPLS  
 Fonte: Silva (2002)

O principal objetivo do MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) é reduzir o processamento necessário para cada roteador redirecionar o pacote, permitindo este caminho entre as redes ser baseado em informações que não estão dentro do cabeçalho do datagrama IP. No roteamento IP convencional, cada roteador no caminho toma uma decisão de roteamento independente para cada pacote. Essa decisão é tomada somente com as informações contidas no cabeçalho IP, logo, um cabeçalho IP contém as informações que são necessárias para o redirecionamento do pacote. A decisão de roteamento é feita para cada roteador no caminho do pacote, o que pode ser redundante (SILVA, 2002).

No MPLS, os pacotes são redirecionados baseados num valor de tamanho fixo, chamado Label (rótulo), que é inserido entre o cabeçalho de link e o cabeçalho de rede. Vários cabeçalhos Shim (cabeçalhos MPLS) podem ser inseridos dentro do pacote. Um roteador capaz de entender um pacote MPLS é chamado de *Label Switching Router (LSR)*. O caminho que o pacote percorre é chamado de *Label Switching Path (LSP)*. E por fim, o protocolo de comunicação entre os elementos de rede ou roteadores é chamado de *Label Distribution Protocol (LDP)*. O roteador MPLS usa um label; um índice da tabela de roteamento que especifica o próximo hop e o novo label, diferentemente dos roteadores que se baseiam nas informações contidas no cabeçalho IP. O label antigo é colocado em um novo e o pacote é direcionado para o próximo hop. Este processo se repete em cada hop no caminho até chegar ao roteador final que irá colocar o pacote dentro da rede (SILVA, 2002).

No ambiente de serviços públicos chamados de NGN, as redes públicas unificadas serão capazes de proverem telefonia, acesso à internet, formação de VPN's e acesso a conteúdos através de diversos tipos de terminais, sejam eles: telefones, computadores, computadores de mão ou "smartphones". (KNIGHTSON, 2005).

O MPLS apresenta uma série de características que potencializam em muito alguns benefícios para os serviços que suporta. (SANTOS, 2005).

Alguns dos benefícios de uma solução com Rede MPLS de acordo com Santos (2005, p.44) são:

- Simplifica a Administração de T.I., visto que provê um sistema de comunicação inteligente, porque: é mais eficiente que tecnologias anteriores para crescer e reduzir pontos da rede (escalabilidade); garantir qualidade de aplicações convergentes (desempenho); estabelecer mecanismos de "Disaster Recover" (alta disponibilidade); e de segurança;

- Qualidade de serviço (QoS): os Backbones IP's (MPLS) atualmente estão preparados para implementar QoS para diferentes tipos de tráfegos-voz, dados e multimídia;

- Altas velocidades no núcleo da rede: a disponibilização de altas velocidades no "Core" das Redes de Telecomunicações das Operadoras possibilita a convergência de serviços;

- Multicast: permite aproveitamento da banda e facilita implantação de aplicações "multicast";

- MPLS é implantado em roteadores criando um Backbone MPLS: na maioria dos casos as operadoras de telecomunicações implantaram MPLS nos mesmos roteadores que formam o Backbone Internet, transformando os Backbones Internet em um Backbone Multiserviço.

O MPLS é de natureza peer-to-peer: com flexibilidade alta para (re) configurar topologias. A adição de um novo site (ponto de rede) não irá interferir na configuração do restante da rede, mas apenas nesse ponto da rede.

- Flexibilidade de Acessos: O MPLS permite o acesso de diversos tipos de interfaces e protocolos da Camada 2. O acesso à camada de serviços MPLS pode ser via Frame- Relay, E1, SDH, Xdsl, MetroEthernet, GPRS, WiFi, e WiMax.

A topologia física está associada ao posicionamento físico desses componentes, ou como estão interconectados. A topologia lógica está associada

roteamento utilizado entre esses componentes, ou como esses componentes se vêm na rede que de acordo com Santos (2005, p.57) são:

- A Topologia Full-Mesh é quando essa topologia é empregada, uma das implicações diretas é que o roteador utilizado no centro da rede não precisará mais comutar o tráfego entre filiais e também não precisará centralizar as informações de roteamento.

- Topologia Hub-and-Spoke: essa topologia é normalmente utilizada quando se deseja implementar um nível de segurança maior, forçando o tráfego entre filiais a passar pela matriz.

- Topologia Mista: essa topologia é a integração das topologias Full-Mesh e Hub-and-spoke.

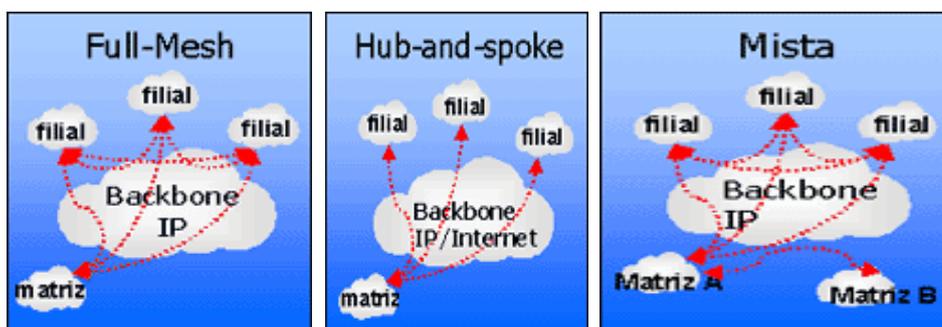


Figura 9 - Topologias MPLS  
Fonte: Santos (2005)

Os pacotes são encaminhados ao longo de um caminho determinado por um rótulo, denominado LSP, onde roteadores capazes de analisar e comutar rótulos, denominados LSRs, tomam as decisões de encaminhamento baseados apenas no conteúdo do rótulo. Em cada salto, o LSR analisa o rótulo, o remove e aplica um novo, com informações de como encaminhar o pacote para o próximo LSR e assim por diante. O rótulo é removido no Edge LSR de saída, e a partir daí o pacote é encaminhado ao seu destino final pelo endereço IP de destino. (SILVA, 2002)

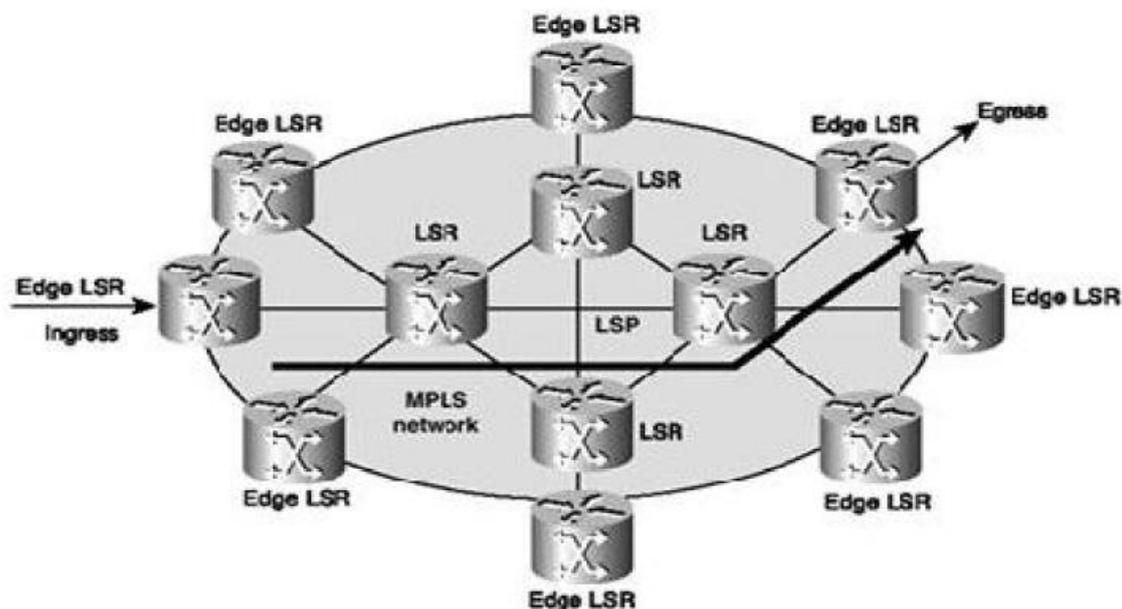


Figura 10 - Topologia de uma rede MPLS  
 Fonte: Silva ( 2002)

#### 2.4.2 Arquiteturas de dispositivos MPLS

Numa rede MPLS a arquitetura de um nó, ilustrada na Figura 11 é definida por dois componentes. O componente de encaminhamento conhecido como *Data Plane* e o componente de controle chamado de *Control Plane*. O componente de encaminhamento utiliza uma base de dados mantida por um comutador que faz o encaminhamento dos pacotes de acordo com os rótulos carregados por eles. Já o componente de controle é responsável pela criação e manutenção da informação rotulada encaminhada entre um grupo de dispositivos interconectados. A Figura 11 mostra uma arquitetura básica de um nó MPLS fazendo roteamento IP (CISCO, 2007).

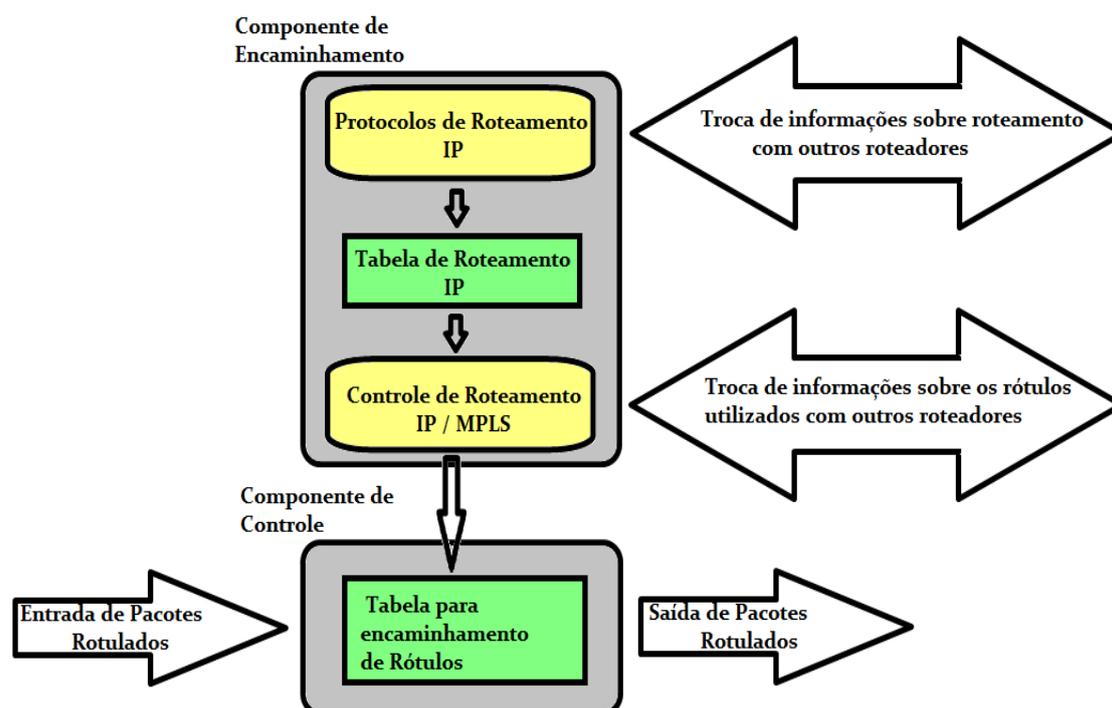


Figura 11 - Arquitetura de um Nó MPLS/IP  
Fonte: Cisco (2007)

Cada nó MPLS deve ser capaz de lidar com um ou mais protocolos de roteamento, assim trocam informações para que o encaminhamento dos pacotes seja feito entre os nós MPLS pertencentes à rede. Desta forma, todo nó MPLS é um roteador IP em seu plano de controle. Os protocolos de roteamento fornecem dados para que as tabelas de roteamento sejam preenchidas (SANTOS, 2005).

Nos roteadores IP, as tabelas de roteamento servem para armazenar os endereços IP numa memória temporária, formando assim uma *cache* de endereços. Num nó MPLS, a tabela de roteamento é utilizada para determinar a troca de rótulos, onde nós adjacentes trocam rótulos na sub-rede que está contida na tabela de roteamento. A troca de rótulos para destinos *unicast* pode ser feita através do protocolo proprietário da Cisco TDP (*Tag Distribution Protocol*) ou pelo protocolo especificado pela IETF, o LDP (*Label Distribution Protocol*) (SARMENTO, 2008).

COMPARAÇÃO DOS ROTEAMENTOS		
COMPARAÇÃO	IP	MPLS
ANALISE DO CABEÇALHO IP	OCORRE A CADA NÓ	OCORRE APENAS NA BORDA
SUPOORTE A MULTICAST	REQUER ALGORITMOS COMPLEXOS	REQUER UM ALGORITMO
DECISÕES DE ROTEAMENTO	BASEADO NO ENDEREÇO	BASEADO EM QoS, VPN

Figura 12 - Roteamento  
 Fonte: Santos (2005)

O processo de controle de roteamento IP MPLS utiliza os rótulos trocados entre nós adjacentes para construir uma tabela de encaminhamento, que é a base de dados do componente de controle, que é usado para encaminhar pacotes rotulados pela rede MPLS (SANTOS, 2005).

A arquitetura MPLS emprega dois tipos principais de roteadores, LSR que possuem somente interfaces puramente MPLS, possibilitando enviar o tráfego baseado puramente em rótulos, ou seja, trabalha somente com a Camada 2. Para tratar os pacotes vindos das redes IP existe o LER (*Label Edge Routers*), que pode ser de ingresso ou regresso na rede MPLS, dependendo se o pacote está entrando ou saindo do domínio MPLS. Cada LSR e LER mantêm uma base de informação de rótulos conhecida como LIB (*Label Information Base*). A mesma é usada para dar encaminhamento aos pacotes. (KUROSE; ROSS, 2007).

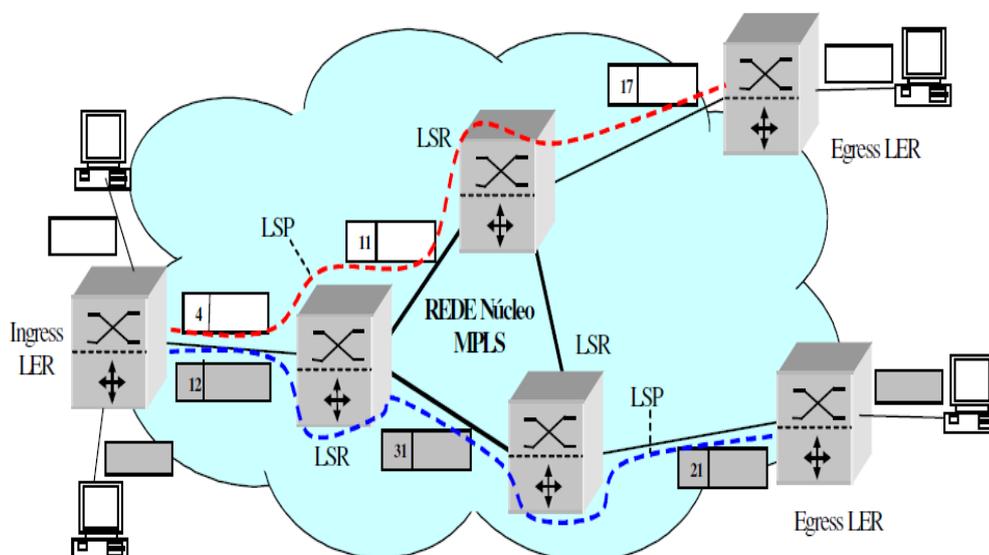


Figura 13 - Arquitetura MPLS  
Fonte: Kurose; Ross (2007)

## 2.5 MPLS-TP

Em relação à tecnologia MPLS, o ITU (os grupos 13 e 15, desenvolvem recomendações em relação ao transporte óptico) vem unindo esforços com o IETF no sentido de interoperar os padrões existentes para as redes de transporte, o produto final deverá ser um novo *framework* conhecido como MPLS-TP, através da criação de fórum *Joint Work Team* (JWT) (CINTRA, 2009).

Segundo Kurose (2006) neste acordo estarão todos os requisitos para encaminhamento, OAM, proteção, gerência e protocolos de controle, cumprindo as funcionalidades das redes de transporte e garantindo interoperabilidade. As questões levantadas nos grupos de do ITU-T SG15 que estão em desenvolvimento para estabelecer os mecanismos de proteção e OAM do padrão *ethernet carrier-class*. Foram padronizados sobre OAM a Y.1710 sobre os requisitos da rede, mecanismos (Y.1711), RFC 3429, RFC 4377, RFC 4378 e RFC 4379. Foi decidido que o grupo OAM (5/13) fosse transferido para 10/15 que conduziu os estudos a partir de 2009.

A principal característica da tecnologia OTN é o transporte de qualquer sinal digital independente dos aspectos específicos do cliente. De acordo com o descrito na G.805, o limite é colocado na adaptação do canal do cliente. Temos nesta

evolução em dois aspectos separados, um é o aspecto digital dos canais ópticos (ODU) com revisão da G.709, e o outro aspecto é o comprimento de onda em mídia, relacionando com a evolução para WSON (*Wavelength Switched Optical Network*) (MONTEIRO, 2012).

Esta nova arquitetura vai permitir que as tecnologias dos serviços e dos transportes sejam mantidas independentes pelas interfaces entre eles. Nesta evolução ocorre a junção dos padrões MPLS para transporte tanto do IETF como do ITU-T, de forma a criar interoperabilidade entre eles. O desenvolvimento dos padrões do MPLS-TP (RFCs 5654 / 5860) segue os seguintes princípios segundo Cintra (2009, p.57):

- Compatibilidade com o MPLS,
- Atender a requisitos de camada de transporte,
- Prover um conjunto mínimo de funções.

Entre outras melhorias o MPLS-TP incorporou ao seu conjunto mínimo as funções de OAM abaixo:

- Funções relativas a falhas:

- Verificação de continuidade e conectividade: mensagens enviadas periodicamente para verificar se a conexão está normal.

- Indicação de alarme (AIS): notificação enviada à camada cliente quando uma falha é detectada em uma camada de serviço.

- Indicação de defeito remoto (RDI): usada para notificar a ponta remota quando ocorre uma falha local.

- *Loopback* (LB): usada para verificação bidirecional de conectividade, teste e diagnóstico bidirecional *in-service* e *out-of-service*.

- Teste: usada para teste e diagnóstico unidirecional *in-service* e *out-of-service*.

- *Locked*: notifica que a interrupção de um serviço e sua correspondente camada ou subcamada se deve a razões administrativas, permitindo assim diferenciar uma interrupção programada de uma falha.

- *Client Signal Failure* (CSF): transfere a indicação CSF para o processo cliente específico na ponta remota.

- Funções relativas ao desempenho:

- Medição de perda de pacotes (LM): mede a taxa de perda de pacotes e *frames* tanto na ponta local como na ponta remota. Inclui métodos de medição unidirecional e bidirecional.

- Medição de retardo e variação de retardo (DM): inclui medição unidirecional e bidirecional do retardo e sua variação. A medição unidirecional requer o envio de *clock* e a sincronização de ambas as pontas, a medição bidirecional não tem este requisito.

- Outras funções de OAM (RFC 5862).

- Comutação de proteção automática (APS): provê comutação de proteção.

- Canal de gerência (MCC): provê comunicação no plano de gerência.

- Canal de sinalização (SCC): provê comunicação no plano de sinalização.

- Mensagem de sincronismo (SSM): transfere informação de sincronismo.

**- Vantagem:**

- Compatibilidade com o MPLS.

- Atender a requisitos de camada de transporte.

- Prover um conjunto mínimo de funções.

- OAM.

**- Desvantagem:**

- Finalizar padronização.

- Verificar testes de interoperabilidade.

## 2.6 REDES OTN

A rede óptica de transporte (OTN) foi desenvolvida com a intenção de combinar os benefícios da tecnologia SDH com a alta capacidade de expansão de banda oferecida pela tecnologia DWDM. Adicionalmente as funções do SDH, o padrão do ITU-T G.709, com base na G.872, definiu a hierarquia de transporte óptico da OTN e as funcionalidades de *overhead* e ainda as estruturas do *frame*, taxa de *bits* e mapeamento dos sinais que segundo Cintra (2009, p.75) a OTN é dividida nas seguintes camadas:

- *Optical Transport Section* (OTS).

- *Optical Multiplex Section* (OMS).

- *Optical Channel* (OCh).

- *Optical Transport Unit (OTU).*
- *Optical Data Unit (ODU).*
- *Optical Channel Payload Unit (OPU).*

A tecnologia OTN adiciona ainda a correção de erro (FEC) para os elementos de rede, permitindo aos operadores diminuir o número de regeneradores necessários na rede, o que traz a vantagem da redução de custo. A OTU encapsula duas camadas, o ODU e OPU, que dão acesso à carga do SDH. Estas camadas podem ser monitoradas e possuem as seguintes taxas de linha:

- OTU1 (255/238 x 2.488 320 Gb/s  $\approx$  2.666057143 Gb/s).
- OTU2 (255/237 x 9.953280 Gb/s  $\approx$  10.709225316 Gb/s).
- OTU3 (255/236 x 39.813120 Gb/s  $\approx$  43.018413559 Gb/s).
- OTU4 (255/227 x 99. 532800 Gb/s  $\approx$  111.809973 Gb/s).

A transmissão de dados sobre esta arquitetura de rede, com monitoramento do circuito fim a fim e função de proteção, que anteriormente eram prestados pelo SDH, já estão implementados na camada WDM, com melhor eficiência e transferência de bits.

**- Vantagem:**

- Suporte a crescente demanda por banda.
- Suporte aos serviços 2,5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps.
- Gerenciamento.
- OAM – detecção de falhas e degradação.

**- Desvantagens:**

- Efeitos não lineares do DWDM, ou seja, quando a energia e a matéria interagem, são efeitos inerentes à própria fibra.
- Aumento da complexidade devido às altas quantidades de canais.

### 2.6.1 Benefícios do MPLS

O método de comutação baseado em rótulo permite aos roteadores e *switches* ATM, que aceitam o MPLS, tomarem decisões de encaminhamento baseadas no conteúdo de um rótulo simples, ao invés de desempenharem uma complexa pesquisa da rota baseada no endereço IP de destino. Esta técnica traz muitos benefícios para as redes baseadas no IP, segundo Santos (2005,p.77) como:

- Redes virtuais privadas (VPNs). Utilizando o MPLS, provedores de serviço podem criar VPNs de Camada 3 através de sua rede *backbone* para múltiplos usuários, utilizando uma infraestrutura comum, sem a necessidade de criptografia;
- Engenharia de tráfego (TE). Ela fornece a habilidade de estabelecer explicitamente caminhos únicos ou múltiplos para fluxo de dados através da rede. Também fornece a habilidade de estabelecer características de desempenho para uma classe de tráfego. Essa característica otimiza a utilização de largura de banda para caminhos subutilizados;
- Qualidade de serviço. Utilizando a QoS do MPLS, prestadores de serviço podem fornecer múltiplas classes de serviço com garantias de qualidade de serviço para seus clientes de VPN;
- Integração do IP e ATM. A maioria das redes emprega um modelo de sobreposição no qual o ATM é utilizado na Camada 2 e o IP na Camada 3, como explicado anteriormente, que trazem grandes problemas de escalabilidade. Com o MPLS, é possível a migração de muitas funções do ATM para a Camada 3, simplificando, assim, o provisionamento da rede, gerenciamento e a complexidade da rede.

Provedores de serviços têm percebido as vantagens do MPLS comparadas ao convencional IP sobre ATM. As grandes redes das grandes empresas que atualmente utilizam o ATM como infraestrutura de Camada 2 para o IP estão entre as beneficiárias dessa tecnologia (CISCO, 2007).

Outra vantagem do MPLS segundo Santos (2005) é o fornecimento de redes virtuais privadas, com a utilização do IP, mais escaláveis e gerenciáveis, uma vez que uma rede MPLS consegue suportar muitas VPNs ao mesmo tempo. O serviço VPN é de grande importância por prover as empresas com redes IP privadas dentro de suas infraestruturas. Com um *backbone* MPLS, a informação da VPN pode ser processada apenas nos pontos de entrada e saída, com rótulos MPLS acompanhando os pacotes através do *backbone* compartilhado até seu correto ponto de saída.

Com o MPLS, é possível isolar as tabelas de roteamento da *Internet* dos núcleos da rede do provedor de serviço. Assim como os dados de uma VPN, o MPLS permite o acesso à tabela de roteamento apenas nos pontos de entrada e saída de uma rede fornecedora de serviço (SANTOS, 2005).

Com o MPLS, pode-se atribuir um rótulo, associado com específicos pontos de saída, ao tráfego entrando pela borda do sistema autônomo do provedor. Como resultado, roteadores e *switches* internos precisam apenas processar a conectividade com os roteadores de borda dos provedores, blindando os dispositivos do núcleo do grande volume de roteamento trocado na *Internet*. Esta separação entre roteadores interiores das rotas de *Internet* também fornece melhor isolamento de erros, segurança e melhora a estabilidade (ROCHA, 2005).

O MPLS combina o desempenho e aptidões da comutação em Camada 2 (camada de enlace) com a comprovada escalabilidade do roteamento em Camada 3 (camada de rede), permitindo aos prestadores de serviços atender aos desafios do crescimento explosivo da utilização das redes enquanto fornecem a oportunidade de diferenciar os serviços sem sacrificar a infraestrutura de rede existente (legado). O MPLS é uma arquitetura flexível e pode ser implantada em qualquer combinação de tecnologias em Camada 2 (SANTOS, 2005).

### 2.6.2 Elementos MPLS

Os elementos MPLS que ajudam no entendimento da interação com os vários protocolos Camada 2 e Camada 3 segundo Keller (2009) são:

- Roteadores de comutação de rótulo, ou LSR;
- Caminho de rótulo comutado, LSP;
- Protocolo de distribuição de rótulo, ou LDP ou LSR. O LSR é um dispositivo que implementa o controle MPLS e encaminha os componentes. Ele encaminha um pacote baseado no valor do rótulo encapsulado e também encaminha pacotes Camada 3 nativos.

## 2.7 REDES PTN

Conhecer as funcionalidades básicas, requisitos e especificações desta nova tecnologia, é o primeiro passo no entendimento para realização dos projetos de evolução, verificando as vantagens e desvantagens, como capacidade, disponibilidade e flexibilidade, comparativamente das tecnologias atuais.

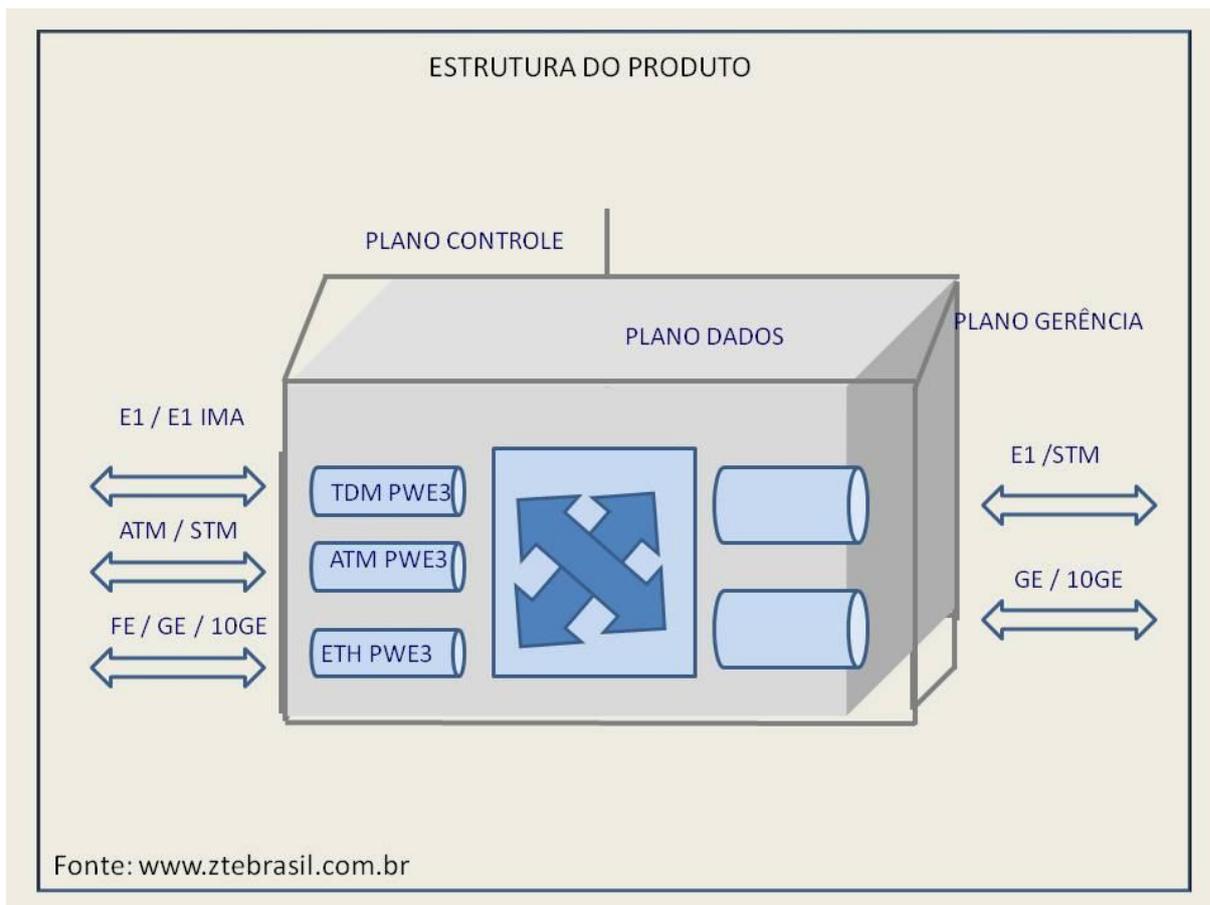


Figura 14 - Estrutura PTN  
 Fonte: Adaptado de Cintra (2009)

A Figura 14 apresenta a estrutura da tecnologia PTN (*Packet Transport Network*) ou híbrida, os serviços são adaptados por *pseudowires* (PWE3) e em tunelamento através de MPLS-TP, antes de serem comutados por pacote. Suporta *clock* síncrono para vários tipos de requerimentos e aplicações, podendo ser aplicados em diversos cenários, tanto nas redes de clientes, metropolitanas e *backbones*, com interfaces de alcances até 40 km (FERREIRA, 2010).

Nesta estrutura, a placa mãe provê o tratamento dos diversos serviços em uma matriz agnóstica, responsável pelo controle do sistema, comutação e funções de sincronismo. Transmite os serviços de dados e gerência através de barramentos e componentes internos a placa. Em relação aos serviços oferecidos, poderão ser *ethernet* baseados nos padrões do MEF (E-LINE, E-LAN, E-TREE), ATM (IMA E1) ou TDM (TDM E1) (CINTRA, 2009).

Nas funções de Camada 2, vai realizar as lógicas da rede com os protocolos STP, IGMP, *Link Aggregation* e LDP. Com o MPLS-TP possibilita criar os túneis e as funções de adaptação dos serviços e ainda as funções de proteção, que poderão ser

1+1 *path protection*, 1+1 SNC, e modo *wrapping*, que é uma proteção baseada em anel. Para as funções de OAM (gerenciamento das falhas), vai realizar as verificações de continuidade e conectividade, indicação de alarmes (AIS), indicação remotas (RDI), *loopback* (conectividade bidirecional) e *lock* (trava o envio de pacotes). Em relação às funções de QoS, permite realizar as funções básicas, como classificação do tráfego e políticas, congestionamento, agendamento de filas, formatação do tráfego e ainda QoS dos túneis (FERREIRA, 2010).

Como uma plataforma multiserviços, é uma rede síncrona de alta precisão, trazendo QoS ponto a ponto, OAM, mecanismos de proteção, compatibilidade com a rede instalada, etc., trazendo vantagens em relação às tecnologias atuais, tanto em capacidade como em investimento, da ordem de 50% inferior que o segundo Aguiar (1999, p.78), apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

**- Vantagem:**

- Mantém as características do SDH.
- Conexão orientada;
- QoS;
- Mecanismos de proteção;
- OAM;
- Escalabilidade;
- Custos mais atrativos.

**- Desvantagem:**

- Ineficiente para TDM;
- Padrões ainda em estudo;
- Interoperabilidade;
- Alto consumo equipamentos.

## 2.8 MODELOS DE REDE- BANDA LARGA

A Figura 15 apresenta como podemos mapear um serviço de acesso banda larga nas redes atuais e em uma rede híbrida.

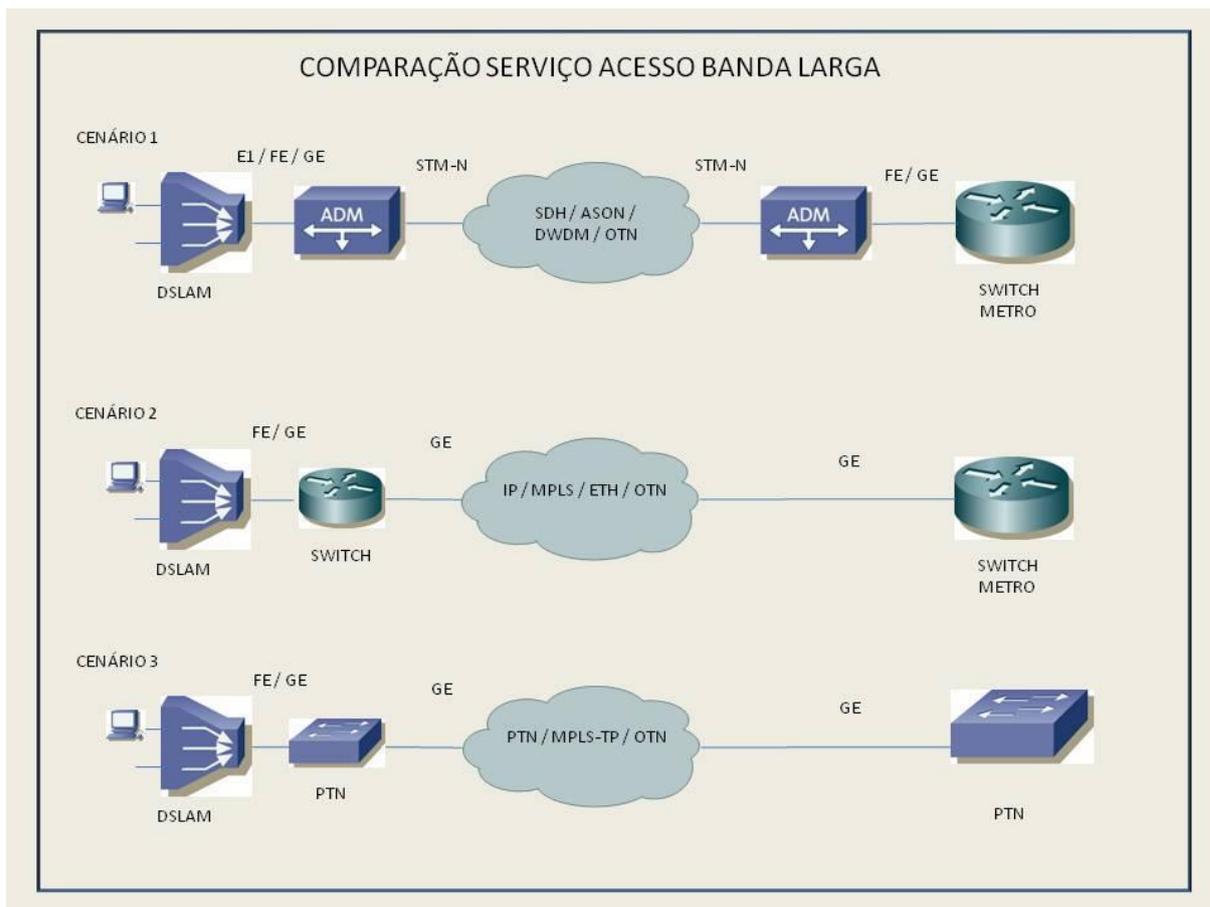


Figura 15 - Comparação dos modelos de redes  
 Fonte: Aguiar (2005)

O Cenário 1 apresenta uma rede de transporte tradicional, orientada a conexão. Na interligação da rede da operadora com o cliente, temos o equipamento de dados com interfaces E1, *Fast ethernet* ou *Gigabit ethernet*, interconectando com o equipamento ADM. Estas redes apresentam controles robustos de proteção e restauração, sincronismo, etc., no entanto, são ineficientes para transporte de tráfego de dados, pois mesmo com o uso de técnicas como GFP e VCAT, existe a restrição que os VCs devem ter os mesmos tamanhos. Os sistemas de provisionamento e detecção de falhas são distintos. (AGUIAR, 1999).

O Cenário 2 apresenta uma arquitetura de rede não orientada a conexão, alto *overhead*, e a existência de diversos protocolos que aumentam a complexidade, tanto do provisionamento como em casos de falhas, para realizar a convergência da rede. As funcionalidades de *fast reroute* e *LSP merge* requerem plano de controle de Camada 3. Além disso, as *switchs* precisam ser do tipo *carrier class*, que

adicionam funcionalidades para as redes metropolitanas, elevando seus custos. (AGUIAR, 1999).

O Cenário 3 apresenta uma rede híbrida, onde a oferta de interfaces para o cliente aproveita a rede legada ATM, E1, *Fast ethernet* ou *Gigabit ethernet*, de forma a tratar os tipos de tráfego em matriz agnóstica. Utiliza a tecnologia MPLS-TP, que simplifica as funcionalidades da rede MPLS convencional, reduzindo os protocolos de Camada 3. Utiliza uma única gerência para aprovisionar os circuitos como *pseudowires*. Utiliza, também, as padronizações do MEF para oferta de serviços e plano de controle GMPLS e ASON. Possui os principais controles de proteção e alarmes, como o SDH. (AGUIAR, 1999).

Segundo Aguiar (1999), para a oferta de serviços *e-science*, os equipamentos híbridos possuem o melhor dos mundos estatísticos e determinísticos, agregando o conceito da tecnologia ASON GMPLS (ainda em padronização), que permite dentro das especificações de QoS, em caso de falhas, redefinir as rotas, pois a arquitetura ASON já está bem integrado as tecnologias DXC, OTN e PTN.

### 3 CONCLUSÃO

Para o encaminhamento dos pacotes existem os serviços orientados a conexão e os não orientados a conexão, cada qual utilizado em determinada aplicação dependendo das exigências. Diferentemente dos serviços sem conexão, as conexões orientadas estabelecem, primeiramente, uma conexão com o serviço desejado antes de transmitir qualquer informação, oferecendo certa garantia de entrega. Apesar do custo dos serviços orientados a conexões ser maior, muitas aplicações exige a garantia de entrega, sendo, portanto muito utilizado.

A interligação de redes locais com tecnologias diferentes abriu espaço para a criação das grandes redes nas quais todos estão interligados, porém a interoperabilidade entre os sistemas é um problema a ser resolvido. Para isso foram criados modelos de referências, com padrões especificados por organizações internacionais (ISO e ITU-T), como o modelo de referência OSI e o modelo de referência TCP/IP, atualmente o mais difundido.

O transporte de dados começou a ser realizado em redes projetadas para o serviço de voz, sendo apenas posteriormente implantadas redes de dados independentes e paralelas às redes de voz, com sistemas de gerência próprios e alto custo operacional devido à falta de integração com as tecnologias já instaladas e a utilização do legado.

Com o MPLS, tem-se um modelo integrado no qual os switches ATM são conhecedores do IP e as ligações ATM são tratadas como ligações IP. Dessa forma, cada switch ATM pode se tornar um par de roteamento para o IP, diminuindo drasticamente o número de adjacências, que não mais aumentam com o tamanho da rede.

O MPLS é um multiprotocolo, pois pode ser aplicável em qualquer protocolo da camada de rede. Ele resume toda a informação necessária para o encaminhamento de pacotes pela rede em um rótulo simples de comprimento fixo, que nos pacotes é inserido entre os cabeçalhos de Camada 2 e de Camada 3. As vantagens mais relevantes na utilização do MPLS são a facilidade de engenharia de tráfego, permitindo direcionar fluxos de dados específicos para caminhos menos congestionados, e a implementação de redes virtuais privadas (VPNs), que através da pilha de rótulo se torna bastante simplificada.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Luiz Henrique. **Arquitetura MPLS para formação de VPN**. 2004 - f. Monografia - Bacharelado em sistemas de informação, faculdade de ciências aplicadas de minas, Uberlândia, 2004.

AGUIAR, E. C. V. P. Aguiar, “**Relatório Técnico e Resenhas Padrões ITU-T e IETF**”, Outubro 1999.

AGUIAR, E. C.V.P. AGUIAR, E. Guia, M., “**QoS em Redes sem Fio**”, UGF, Julho 2005.

ALBUQUERQUE, Fernando. **TCP-IP Internet: protocolos & tecnologias**. 3. ed. Rio de Janeiro : Axcel Books do Brasil, 2001. xv, 362 p, i

ALOIA, Eduardo José. **Sistematização Crítica das Tendências de Padronização de Arquitetura** BERREDO, M. PADRÃO IEEE 802.3 e ETHERNET. 2000. 18 f. Notas de Aula –Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro.

AWDUCHE, D., **Requirements for Traffic Engineering Over MPLS** . RFC 2702. IETF. 1999.

BATES, Regis J. **Broadband Telecommunications Handbook**. 2nd ed. Phoenix: McGraw–Hill telecommunications, 2002.

CARVALHO, A. R. M. **Dimensionamento e análise de desempenho de redes GSDH para suporte de tráfego IP**. Lisboa: Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 1998.

CINTRA, C. Cintra, “**MPLS-TE**”, Junho 2009, projeto final.

CISCO. **Ethernet over MPLS for the Cisco 7600 Series Internet Routers de Protocolos em Redes Ópticas**. São Carlos : s.n., 2007.

COMER E. Douglas; **Interligação em redes TCP/IP** volume I; Rio de Janeiro; Ed:Campus, 1999.

DANTAS, Mario. **Tecnologia de redes de comunicações**. Rio de Janeiro. Axcel Books, 2002.

DAVIE, B. e REKHTER, Y., **MPLS: technology and applications**. Morgan.2000. Kaufmann Publishers Inc, San Francisco, USA.

FERREIRA, A. E. Ferreira, Aguiar, E. C. V. P., “**Caracterização do serviço de DCN 04\_11\_10**”, outubro de 2010 .

GOETEN, Luciano Waltrick; STRINGARI, Sergio; UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU, Centro de Ciências Exatas e Naturais. Protótipo de um software agente SNMP para rede Windows , 73p, il. Orientador: Sérgio Stringari. 2001.

KELLER, Alexandre. **Asterix na prática**. São Paulo. Novatec Editora, 2009.

KNIGHTSON, K. MORITA; TOWLE, T. NGN **Architecture: Generic Principles, Functional Architecture, and Implementation**. *IEEE Communications Magazine*, New York, v.43, n.10, p.49-56, Oct. 2005.

KUROSE, J., ROSS, K. **Redes de computadores e a Internet: uma nova abordagem**. Pearson Education do Brasil, 2007.

MONTEIRO, D. B. Monteiro, “**Proposição de Suporte a Serviços Atendidos por DCN**”, UFF, Dezembro 201., dissertação.

ROCHA, André Fagundes da. **Evolução das redes telefônicas a partir de processos gradativos de modificação de topologia de rede e conversão de centrais**. Cad. CPqD Tecnologia, Campinas, v. 1, n. 1, p. 61-70, jan./dez. 2005.

ROTHENBERG, C. Esteves; FIGUEIREDO, M. Augusto. **Um controlador de recursos para redes de próxima geração**. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/~chesteve/pubs/ngnrc-esteve-infobrasil-v1.pdf>> Acesso em: 18 de Setembro de 2013.

SANTOS, R. C. Dos. **Um estudo do Uso da Tecnologia MPLS em Backbones no Brasil**. Florianópolis: UFCS, 2005.

SARMENTO, Paulo R. V. **Trabalho de conclusão de curso de pós graduação Convergência Ip para redes e serviços em telefonia, aspecto técnico e de mercado**. Cascavel 2008.

STARLLINGS, William. **Redes e Sistemas de Comunicação de Dados- Teoria e aplicações corporativas**. 5ª edição. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2005.

SZTAJNBERG, Alexandre. **Gerenciamento de redes – Conceitos básicos sobre os protocolos SNMP e CMIP**. Rio de Janeiro, [1996]. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/~alexszt/ger/snmpcmip.html>>. Acesso em: 20 de setembro de 2013.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. Tradução por Insight Serviços de Informática. 3. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003. Tradução de: Computer Networks

TRONCO, Tania R. **Redes de Nova Geração**. 1. ed. São Paulo : Érica, 2006.

