

# Unidade VIII

## 8 MPLS, DWM, DWDM E FSO

### 8.1 A tecnologia MPLS (*multiprotocol label switching*)

#### 8.1.1 Histórico da tecnologia MPLS

Conhecido no mundo da tecnologia como a sucessora natural das redes ATM, o MPLS foi criado em meados da década de 1990, principalmente para substituir as tecnologias que não conseguiram atingir altas taxas de transmissão, sobretudo aquelas que operavam em redes IP. As principais características do MPLS são justamente as funções relacionadas ao roteamento para as redes IP que trazem consigo os mesmos algoritmos de roteamento utilizados em redes tradicionais.

O grande mérito do desenvolvimento dessa tecnologia se deve à Cisco Systems, que apresentou uma resposta no conceito de comutação por rótulos. Várias tentativas de padronização dessas tecnologias submetidas ao comitê IETF resultaram na combinação de tecnologias oriundas de diversas empresas produtoras de tecnologia de longa distância. Nasceu, então, o protocolo MPLS, que promoveu a implementação de comutação baseada em rótulos que a Cisco desenvolveu e passou a ter uma grande proximidade ao protocolo original desenvolvido por ela.

O MPLS é bastante relevante para os protocolos de nível 3 da camada de rede, mas sua arquitetura é definida e orientada pela RFC 3031 e voltada para o protocolo IP, apresentando sobretudo a necessidade inicial de criar uma tecnologia que fosse capaz de melhorar a velocidade do encaminhamento dos pacotes. Porém, os algoritmos de roteamento dos pacotes voltados à alta velocidade agora são implementados diretamente no ativo de comunicação conhecido como ASICs. Basta observar o comparativo efetuando uma pesquisa de rótulos de tamanho de 20 *bits*, que não é significativamente mais rápido do que uma pesquisa usando protocolo IP com tamanho de 32 *bits*. Sabemos que as melhores taxas de encaminhamento do pacote não são o principal atributo do MPLS, mas suplantam a complexidade adicional no uso dos rótulos pelo MPLS para transportar o protocolo IP e ainda fazer com que seus operadores de rede sejam aculturados em mais uma tecnologia.

O MPLS é responsável por modificar sistematicamente uma informação fundamental existente nas redes IP, criar uma tecnologia que tem proposta de superposição de um rótulo ao datagrama original e ainda implementar propriedades de comunicação orientada à conexão.

A questão relevante está no tipo de aplicação que essa tecnologia permite aos usuários, uma vez que é difícil de se implementar. As duas principais aplicações que o MPLS traz com suas soluções são a engenharia de tráfego e a possibilidade de criação de VPN com substancial carga de segurança.

### 8.1.2 Características

O MPLS é um *framework* que foi desenvolvido pelo IETF para propiciar a designação, o encaminhamento e a comutação de fluxos eficientes de tráfego através de uma rede de longa distância. Consiste basicamente na classificação das informações do usuário em uma determinada classe de serviço, então os dados serão encaminhados através de caminhos preestabelecidos nos quais é feita apenas a comutação das conexões, e não apenas o roteamento. O MPLS é uma tecnologia que é implementada especificamente em *backbones*, porém também é aplicada como solução de problemas de conectividade para usuários finais, proporcionando a eles alta flexibilidade, velocidade, escalabilidade e gerenciamento da qualidade dos serviços, além de associar a necessidade de engenharia de tráfego ao meio físico.

Algumas das vantagens dessa nova tecnologia são:

- Orientação à conexão em redes IP.
- Transferência da comutação da camada 2 para a camada 3.
- Menor complexidade de decisões de encaminhamento nos roteadores.
- Engenharia de tráfego.
- VPNs (*virtual private networks*).
- Eliminação de múltiplas camadas.
- CoS (classe de serviço).
- Garantia de QoS (qualidade de serviço).

A aplicação mais interessante do MPLS consiste na sua utilização em conjunto com o IP. Dessa forma, tem-se as vantagens do roteamento de pacotes e da comutação de circuitos.

### 8.1.3 Funcionamento do MPLS

O MPLS se caracteriza pelo funcionamento da seguinte forma: cada pacote que ingressa dentro de um sistema MPLS recebe um rótulo *label*, de um determinado roteador da borda conhecido por LER (*label edge router*). Os pacotes serão encaminhados por um caminho em rede comutada por rótulos através dos LSP (*label switch path*), que são constituídos por roteadores de comutação de rótulos chamados de LSRs (*label switch routers*). Cada LSR é responsável por tomar decisões de encaminhamento baseadas no rótulo de cada pacote. A cada salto do pacote, o LSR retira o rótulo existente e aplica o novo rótulo para implementar o próximo salto a fim de encaminhar o pacote até o seu destino. Esse processo é muito parecido com características das redes ATM, ao executar o encaminhamento das informações através dos caminhos virtuais e dos canais virtuais.

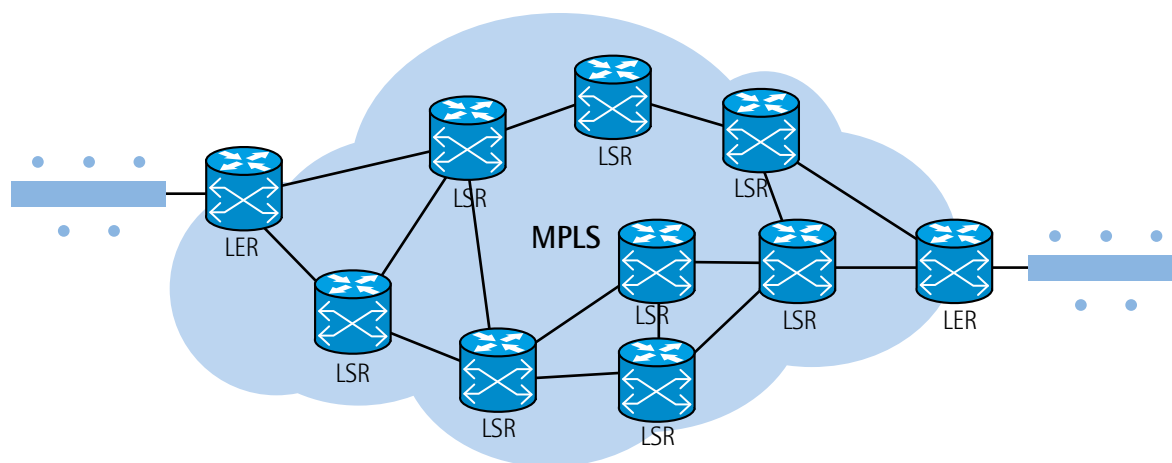


Figura 74 – Topologia MPLS e seus ativos

## 8.1.4 Conceitos básicos

Um rótulo é um identificador curto de tamanho fixo e fisicamente contíguo, usado para identificar uma FEC (*forwarding equivalency class*) encaminhadora por equivalência de classe, normalmente com significado local. O cabeçalho do pacote MPLS deve ser posicionado depois de qualquer cabeçalho de camada 2 enlace e antes de um cabeçalho de camada 3 rede. Seu tamanho é definido em 32 *bits*. O rótulo associa pacotes às suas respectivas conexões, algo bem parecido com o que acontece ao VPI/VCI nas redes ATM e ao DLCI no *frame relay*. Em uma visão mais simplista, o rótulo carrega consigo informação necessária para indicar aos roteadores da parte interna do sistema MPLS de como ele deve proceder em sua própria entrega, lembrando que tudo isso é baseado em sua classe de serviços e pensado exatamente em uma a visão de qualidade de serviço macro do sistema como um todo, preservando um balanceamento natural dos recursos internos do sistema.

Campos do rótulo MPLS:

- Campo *label/tag* (20 *bits*): carrega o valor atual do rótulo MPLS.
- Campo EXP/COS (3 *bits*): pode afetar o enfileiramento e algoritmos de descarte aplicados ao pacote enquanto ele é transmitido pela rede.
- Campo *stack/S* (1 *bit*): suporta uma pilha hierárquica de rótulos.
- Campo TTL (8 *bits*): fornece funcionalidades de TTL IP convencional. Especifica um limite de quantos *hops* o pacote pode atravessar.

O grupo de trabalho IETF estabeleceu as propriedades do MPLS, que deveria usar formatos existentes de rótulos. Assim, o MPLS suporta três tipos diferentes. Em *hardware* ATM, usa os bem definidos rótulos VCI e VPI. Em *frame relay*, utiliza o rótulo DLCI e em qualquer outro lugar, utiliza um novo e genérico rótulo conhecido como Shim (representado na figura a seguir), que se posiciona entre as camadas 2 e 3.

Como o MPLS permite criar novos formatos de rótulos sem ter que trocar os protocolos de roteamento, é relativamente simples estender a tecnologia para formas de transporte ótico emergentes, como DWDM e comutação ótica.

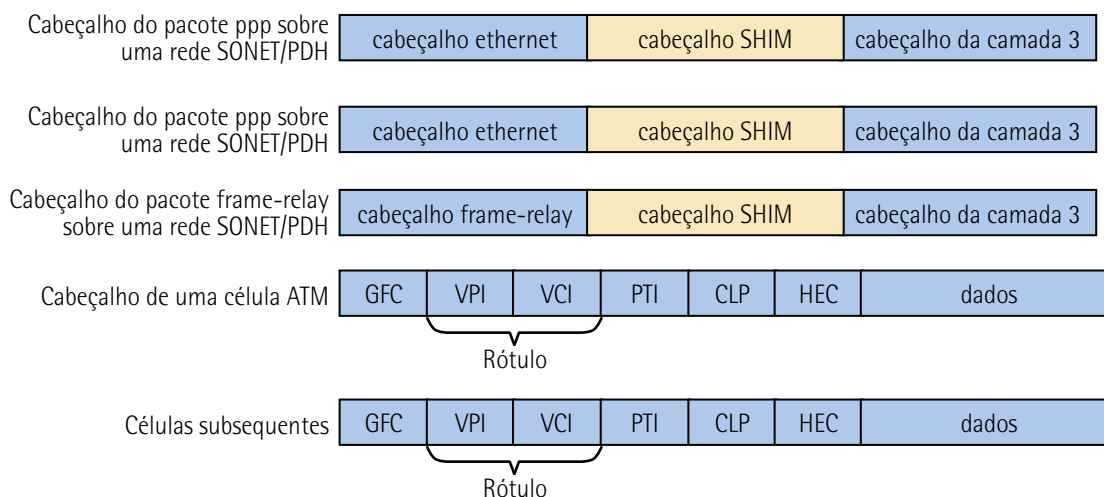


Figura 75 – Rótulos Shim para redes MPLS

## 8.1.5 Pilha de rótulos (*label stack*)

Um dos princípios da comutação por rótulos é ter sido projetada para ser empregada em redes de grande porte. O MPLS tem o suporte à comutação de rótulos com operações em redes hierárquicas que são baseados na habilidade do pacote carregar mais de um rótulo. O empilhamento dos rótulos permite que os *switches* internos da nuvem possam ser orientados a trocar informações entre si e que possuam um comportamento como nós da borda para um grande domínio de redes e de outros *switches* extrarredes.

A forma de processar um pacote que possui um rótulo é completamente independente do nível ou de qualquer hierarquia – o nível do rótulo é irrelevante para o roteador interno da nuvem – e o processamento é sempre baseado no rótulo do cabeçalho, efetuando os outros rótulos que podem ser sucedidos após esse.

## 8.1.6 FEC (*forwarding equivalency class*)

Uma FEC (*forwarding equivalency class* ou classe de equivalência de encaminhamento) é o conjunto de pacotes que serão encaminhados da mesma maneira através de uma rede MPLS. Os pacotes de um mesmo fluxo de dados que sejam da mesma classe de serviço geralmente pertencem à mesma equivalência de encaminhador por classe de informações de qualidade de serviço e também podem ser definidos com a designação dessas classes. A FEC pode ser representada por um rótulo, e cada LSP está associado a uma FEC distinta. Então, podemos afirmar que existe uma associação pacote para rótulo. Essa associação pacote para rótulo acontece uma única vez, quando o pacote entra na rede MPLS, o que agrega extrema flexibilidade e alta escalabilidade nesse tipo de conexão de rede.

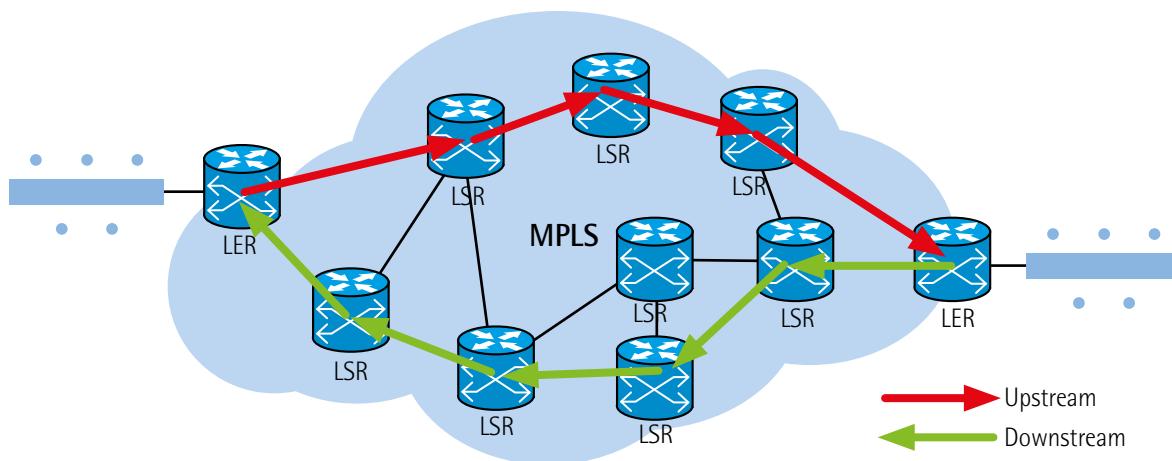


Figura 76 – A FEC determina os caminhos de *upstream* e *downstream*

## 8.1.7 NHLFE (*next hop label forwarding entry*)

O NHLFE (*next hop label forwarding entry* ou registro de encaminhamento por rótulos para o próximo passo) consiste de todos os rótulos que podem ser inseridos em pacotes pelo roteador.

Esse tipo de entrada possui todas as informações que devem ser aplicadas à pilha de rótulos de um pacote e também o endereço do próximo vizinho a quem deve ser encaminhado o pacote. Ela contém as seguintes operações:

- Trocar o rótulo do topo da pilha por outro novo.
- Trocar o rótulo do topo da pilha por outro novo e colocar outros rótulos na pilha.
- Remover a pilha de rótulos.
- Como codificar a pilha de rótulos.

## 8.1.8 ILM (*incoming label mapping*)

A estrutura que é empregada para interceptar rótulos de entrada é chamada de ILM (*incoming label mapping* ou mapa de rótulos de entrada).

O ILM é incorporado somente aos roteadores da parte interna da rede. Assim, é empregado somente para os pacotes que já possuem rótulos. Ele permite fazer o mapeamento de cada rótulo que entra no sistema em um conjunto de NHLFEs. No caso de duas ou mais NHLFEs estarem mapeadas, apenas uma deve ser escolhida.

### 8.1.9 FTN (FEC-to-NHLFE)

O FTN é incorporado somente aos roteadores que permanecem na borda do sistema. Ele é utilizado apenas para os pacotes que não possuem rótulos e faz o mapeamento de cada classe de serviço em conjunto com as NHLFEs. No caso de duas ou mais NHLFEs serem mapeadas, apenas uma deve ser escolhida. Se o método *longest match* for utilizado, ainda haverá *overhead* na busca da FEC nessa tabela, mas o *overhead* existirá apenas nos roteadores da borda.

### 8.1.10 LSR (*label switch routers*)

Os LSRs são os roteadores empregados na comutação por rótulos. Eles são os equipamentos da comutação – por exemplo, os roteadores IP ou ainda *switches* ATM habilitados para o serviço MPLS – e devem possuir algumas funcionalidades específicas e definidas pelo comitê MPLS a serem implementadas por esses equipamentos posicionadas no núcleo da rede MPLS.

Dentro da nuvem, sua função principal é encaminhar os pacotes baseados apenas no rótulo de cada pacote marcado. Ao receber um pacote, cada LSR troca o rótulo existente por outro, passando o pacote para o próximo roteador e assim por diante.

### 8.1.11 LER (*label edge routers*)

O LERs são os roteadores que ficam posicionados na borda do sistema. Eles são os responsáveis por inserir ou remover pilhas inteiras de rótulos dos pacotes. Os roteadores de borda realizam o processo FTN, no momento da chegada de um pacote a um domínio MPLS. Também são responsáveis pela conexão com as redes diferentes interconectadas ao sistema MPS, principalmente por fazerem fronteira entre o domínio MPLS e, por exemplo, a rede interna do cliente. Na verdade, os LSRs possuem a capacidade de fazer fronteira com outras redes como os padrões ethernet *frame relay* e ATM.

### 8.1.12 LSP (*label swith path*)

O LSP é a marcação de um caminho que foi comutado por rótulo – ou seja, um caminho através de uma sequência ordenada de LSRs – que foi estabelecido entre a origem e o destino. Uma característica importante é que o LSP é unidirecional, portanto, é necessário possuir um par de LSP para estabelecer a comunicação entre duas entidades dentro da nuvem MPLS.

O LSP é um caminho através do qual irão transitar os pacotes da mesma classe de serviço que compartilham substancialmente o mesmo destino. Dessa forma, uma rota deve ser estabelecida inicialmente, lembrando ainda que o par de rotas serve para estabelecer os fluxos *upstream* e *downstream* para o par marcado das rotas. Essas rotas são executadas através de roteamento tradicional ou ainda roteamento que exijam restrições, então o caminho fica definido e os pacotes que pertencem a essa classe de serviço não precisam mais ser roteados. Esses serão apenas comutados com bases em seus rótulos e distribuídos entre os LSRs no exato momento do estabelecimento das suas LSPs.

### 8.1.13 LDP (*label distribution protocol*)

A arquitetura empregada em MPLS não possui definição de um único método de distribuição de rótulos. Os protocolos já existentes, como BGP ou RSVP, podem ser estendidos. Pode também ser usado o LDP, definido pelo IETF.

Ele é uma especificação IETF que permite a um roteador interno da nuvem MPLS distribuir os rótulos. Quando esse roteador atribui um rótulo a uma classe de equivalência de serviço, é necessário que ele deixe os seus pares saberem desse rótulo e do seu significado. O protocolo de distribuição de rótulos é empregado com essa tarefa, já que um conjunto dos rótulos do roteador interno de entrada ao roteador interno da saída de um domínio MPLS se define como um caminho de comutação de rótulos LSP. O protocolo de distribuição de rótulos ajuda, então, no estabelecimento de um caminho através do uso de procedimentos específicos para a distribuição de rótulos entre os LSR.

O LDP é empregado para encaminhar os rótulos e gerar tráfego, um passo primordial para a computação dos rótulos envolvendo os LSRs, embora haja uma negociação entre esses equipamentos em relação a quais fluxos de rótulos eles devem empregar para encaminhar o devido o tráfego, entendimento esse atingido com a utilização do LDP. Ele é provavelmente um dos parâmetros mais importantes existentes no MPLS. Trata-se de um mecanismo similar para troca de rótulos em implementações proprietárias como o IFMP (*Ipsilon Flow Management Protocol*), o ARIS (*Aggregate Route-based IP Switching*, da IBM), e o *Tag Distribution Protocol*, da Cisco.

LDP e rótulos são a base da comutação de rótulos e:

- oferecem um mecanismo de "descoberta" de LSR para permitir que LSRs encontrem uns aos outros e estabeleçam comunicação;
- definem as classes de mensagens de notificação *discovery*, *adjacency*, *label*, *advertisement* e *notification*;
- rodam sobre TCP para proporcionar fidelidade de mensagens.

### 8.1.14 CR-LDP (*constraint-based routed LDP*)

O CR-LDP é um protocolo empregado na distribuição dos rótulos que adiciona características específicas associadas às restrições e mensagens de erro para o LDP. É necessário especificamente para a implementação de engenharia de tráfego para as nuvens MPLS.

As restrições do CR-LDP são parâmetros passados para os *downstreams* nas requisições de atribuição de rótulos a fim de determinar se eles podem fornecer a qualidade de tráfego desejada.

### 8.1.15 Vizinhos (*next-hops*)

Observando os algoritmos de roteamento e a existência dos protocolos a eles associados, os vizinhos são os dois roteadores que estejam conectados diretamente, de forma consecutiva. Devemos lembrar que também existem denominações de vizinho válido e de vizinho não válido para o sistema MPLS. LSR2 será um vizinho válido de LSR1 se LSR2 puder ser o próximo roteador no caminho de um LSP que passa por LSR1, independentemente do fato do LSP começar antes de LSR1 ou começar nele e terminar ou continuar após LSR2.

### 8.1.16 Colegas (*peers*)

Os colegas são os roteadores que fazem a troca das informações de rótulos através do protocolo de distribuição dos rótulos, se estes forem vizinhos então serão denominados colegas locais de distribuição de rótulos, caso não sejam vizinhos serão colegas remotos para distribuição de rótulos.

### 8.1.17 LSRs *upstream* e *downstream*

Os LSRs são os roteadores que concordam entre si para a atribuição de rótulos a uma determinada classe de serviços. Em síntese, isso significa que um conjunto de pacotes deverá fluir diretamente pelo *upstream* em um caminho determinado e marcado e também por *downstream* por outro caminho previamente demarcado.

Uma das características interessantes dessa técnica é que tanto o *upstream* quanto o *downstream* não precisam obrigatoriamente passar pelo mesmo caminho, pois têm fluxo bidirecional. Usualmente, esses caminhos são diferentes e distintos entre si. Podemos atribuir os caminhos *upstream* e *downstream* como denominações que indicam o sentido de fluxo dos dados a uma determinada classe de serviços oferecidos pelas atribuições e solicitações dos rótulos entre dois colegas em uma nuvem MPLS.

### 8.1.18 Vínculo de rótulo

O vínculo de rótulo é uma associação explícita de uma FEC a um rótulo. Se observarmos um rótulo por si só, ele não será distribuído em um contexto; assim, não será de nenhuma utilidade para o serviço. Uma vez aplicada a classe de serviço a um rótulo, o receptor sabe aplicar uma determinada classe de serviço a um pacote de dados que chega justamente por sua identificação e associação a uma FEC correspondente.

### 8.1.19 A imposição de um rótulo

A imposição de um rótulo é o processo de acrescentar um rótulo a um pacote de dados quando este entra a uma rede MPLS. Isso também é conhecido como empurrar um rótulo para um pacote.



### 8.1.20 Descarte do rótulo

É o processo de remover o rótulo de um pacote de dados no exato momento em que ingressa no último roteador de borda antes do seu destino final.

### 8.1.21 Troca de um rótulo

É o processo de mudança dos valores dos rótulos que foram colocados no cabeçalho MPLS durante o encaminhamento desse rótulo por todo o seu percurso dentro da nuvem MPLS.

### 8.1.22 Descoberta dos vizinhos

Da mesma maneira que a maior parte dos protocolos de rede, o protocolo de distribuição de rótulos possui um conceito dos vizinhos. Normalmente, ele utiliza as portas UDP e TCP número 646 para estabelecer a descoberta dos vizinhos. Ele possui dois tipos de vizinhos diferentes: os que são conectados diretamente e os que não são conectados diretamente. A única diferença entre eles está no modo como descobrem uns aos outros.

Os LSRs têm a capacidade de descobrir os seus vizinhos conectados diretamente, enviando mensagens de distribuição de rótulos com o comando *hello* encapsulado em um fragmento UDP explicitamente identificado para o endereço de *multicast* 224.0.0.2. Os pacotes serão conhecidos como mensagens *hello*.

Já os vizinhos conectados indiretamente não podem ser alcançados por um pacote UDP *multicast*. Portanto, as mesmas mensagens *hello* serão enviadas como protocolo *unicast*. Para essa tarefa, o LSR saberá antes do momento de enviar o pacote quais são os vizinhos que não estão conectados diretamente a ele. Essa tarefa pode ser aprimorada diretamente por configuração explícita.

### 8.1.23 Estabelecimento e manutenção da sessão

A técnica para o estabelecimento das sessões que promovem a distribuição dos rótulos dentro da nuvem MPLS se desenvolve em duas etapas distintas. A primeira é a que determina quem irá desempenhar o papel ativo e o passivo no estabelecimento das sessões e a segunda está relacionada aos parâmetros de inicialização da sessão. Os papéis ativo e passivo são determinados comparando o endereço do transporte do pacote *hello*.

Depois que a sessão TCP for estabelecida, os roteadores internos na nuvem passam a negociar parâmetros da sessão através das mensagens de inicialização do protocolo que distribuem os rótulos e também são responsáveis pelo estabelecimento das sessões que, ao enviar mensagens *hello* e mensagens *keep alive*, consertam a periodicidade na descoberta por protocolo UDP. Essas sessões são encapsuladas sobre o protocolo TCP. O processo de manutenção de uma sessão para distribuição de rótulos dentro de uma nuvem MPLS ativa depende do recebimento dos pacotes *keep alive* a partir do protocolo de distribuição dos rótulos de forma regular.

### 8.1.24 Anúncio do rótulo

Assim que os roteadores internos na nuvem estiverem estabelecidos em um relacionamento junto ao protocolo de distribuição dos rótulos com seus vizinhos, eles começam a anunciar rótulos entre eles. No anúncio dos rótulos serão enviados alguns tipos diferentes de mensagens. Para a distribuição dos rótulos, essas mensagens são classificadas em sete tipos diferentes:

- Endereço: o LSR anuncia os endereços de interface aos quais ele está ligado.
- Retirada de endereço: retira o endereço de uma interface quando ela é removida ou encerrada.
- Solicitação de rótulo: quando os LSRs estão atuando no modo de retenção do Do D/conservador, o LSR *upstream* solicita um rótulo do LSR *dowsntream*.
- Mapeamento de rótulo: os vínculos de rótulo são enviados por meio da mensagem de mapeamento de rótulo.
- Retirada de rótulo: acontece quando o LSR deseja retirar os vínculos anteriores que ele enviou.
- Liberação de rótulo: confirma a liberação dos vínculos de rótulos indicada na mensagem de retirada de rótulo.
- Pedido de cancelamento de rótulo: cancela quaisquer solicitações pendentes de vínculo de rótulo feitas anteriormente.



#### Lembrete

Várias tecnologias diferentes foram previamente implantadas antes do MPLS com objetivos essencialmente idênticos, como *frame relay* e ATM, os quais usam "rótulos" para mover quadros ou células em toda uma rede. O cabeçalho do quadro de retransmissão de quadros e a célula ATM referem-se ao circuito virtual no qual reside o quadro ou a célula.

### 8.1.25 Notificação

Quando o roteador interno da nuvem MPLS informar a seus pares sobre algum tipo de problema encontrado em qualquer um dos seus percursos, serão utilizadas mensagens de notificação que devem mostrar o erro com aspecto construtivo. As notificações de erro são utilizadas quando o roteador interno encontrar um erro fatal e não puder encontrar uma forma de se recuperar desse erro, o que resulta no encerramento sumário da sessão a partir do distribuidor de rótulos. Os demais roteadores internos que receberam essa notificação irão descartar os vínculos que foram associados. A consulta dessas notificações descarta os vínculos e está associada a uma advertência, podendo os roteadores internos ainda se recuperar do problema encontrado.

### 8.1.26 LIB (*label informations base*)

É a tabela em que são armazenados os diversos vínculos de rótulos que um LSR recebe sobre o protocolo LDP. Ela estrutura a base do preenchimento das tabelas FIB e LFIB.

### 8.1.27 Padronização

Na atualidade, a maioria dos padrões MPLS está na fase *internet draft*, mas vários padrões se encontram na fase RFC-STD34. Nos próximos anos, um novo conjunto de RFCs permitirá a construção de um sistema MPLS. Algumas RFCs que padronizam o MPLS são: RFC 2702, RFC 3031, RFC 3033, RFC 3032, RFC 3034, RFC 3035, RFC 3036, RFC 3037, RFC 3038, RFC 3063 e RFC 3107.

### 8.1.28 Roteamento no MPLS

O protocolo MPLS é constituído de duas formas de roteamento: o roteamento nó a nó e o roteamento explícito. Roteamento quer dizer o modo como os caminhos dentro do MPLS serão criados. De fato, o protocolo que gerencia e cria esses caminhos promove o preestabelecimento destes, ou seja, o roteador de borda da nuvem MPLS, ao receber um pacote, escolherá quais caminhos já criados pelo LSP esses datagramas irão percorrer. Isso não quer dizer que sempre serão criadas rotas explícitas e nem que os caminhos serão explícitos.

#### 8.1.28.1 Roteamento nó a nó (*hop by hop*)

Nas redes padrão IP, os pacotes tendem a seguir o menor caminho entre fonte e destino, partindo da máxima "o caminho mais curto às vezes pode ser o melhor caminho". Esse caminho vai sendo percorrido através de cada roteador da parte interna da nuvem e acata a escolha de cada entrada da tabela de roteamento cujo prefixo de endereço é o maior que se encaixa para o endereço de destino do pacote.

O roteamento nó a nó para as redes MPLS é efetuado pelo protocolo de distribuição de rótulos. Ele utiliza as mesmas entradas das tabelas de rotas logo depois que elas são criadas por um protocolo determinado que estabelece o roteamento, o qual pode ser do tipo padronizado, OSPF, BGP, RIP entre outros. A partir deles, serão atribuídos um ou mais rótulos de entrada e de saída para cada prefixo de endereço constante na tabela de roteamento que existe. Posteriormente, esses rótulos poderão ser distribuídos para todos os seus vizinhos, observando que essa distribuição é realizada através do protocolo que distribui os rótulos; no entanto, nem todas as requisições ou envio dessas atribuições serão aceitos imediatamente. É possível avaliar que o MTS use as mensagens desses protocolos para enviar as suas próprias mensagens.

O roteamento nó a nó é o método que tem encontrado uma série de vantagens para se empregar o uso do MPLS sobre roteamento no canal de forma tradicional. Ele só existirá para roteamento de pacotes dos dados da borda do domínio MPLS, mas após o estabelecimento dos caminhos explícitos dentro da nuvem, o encaminhamento dos pacotes será realizado apenas pela troca de rótulos.

### 8.1.28.2 Roteamento explícito

Em algumas circunstâncias, pode haver situações em que o gestor da nuvem pode optar pela escolha de um caminho diferente do que foi estabelecido pelo roteamento tradicional utilizado. Esse caminho é chamado de ERLSP (*explicit routed LSP*).

Esse protocolo é uma das funcionalidades que restringe o uso do CR-LSP, caminho constituído pelo envio de uma requisição para atribuição do nome contendo todos os nós que devem formar o caminho ou simplesmente indicar o caminho já estabelecido pela nuvem. Ainda é possível utilizar o protocolo RSVP para construir um roteamento explícito. A diferença entre eles será apenas as requisições para atribuição dos rótulos, que serão encaminhadas em mensagens no formato estado de caminho, e as suas atribuições em mensagens no formato RESV em vez do RSVP.

### 8.1.28.3 Planos de controle

Podemos analisar os mecanismos do plano de controle em uma rede IP:

- IGP (*interior gateway protocol*): normalmente utiliza os protocolos OSPF ou IS-IS nas redes de provedores de serviços. Também pode ser EIGRP, RIP ou rota estática.
- BGP (*border gateway protocol*): é utilizado para anunciar rotas que são descobertas a partir de vizinhos externos. O EBGP (BGP externo) é falado entre 7200b e 12008c. O 7200b comunica o que descobriu a todos os outros roteadores em AS1. Nesse caso, todos os roteadores em AS1 precisam descobrir a rota a partir de 7200b.

Agora vamos analisar os mecanismos do plano de controle para as redes MPLS:

- IGP: não é diferente de uma rede IP.
- Protocolo de distribuição de rótulos: os três principais protocolos de distribuição de rótulos são:
  - TDP (*tag distribution protocol*).
  - LDP (*label distribution protocol*).
  - RSVP (*reservation protocol*).



#### Observação

O RSVP é usado para engenharia de tráfego e o TDP é mais antigo do que o LDP.

O protocolo de distribuição de caminhos opera em conjunto com o protocolo IGP para o anúncio dos vínculos de rótulo para todas as rotas que não forem padrão BGP aos seus vizinhos. Os vizinhos encontrados pelo protocolo de distribuição de caminhos serão estabelecidos sobre os *links* que foram ativados por esse protocolo. Assim, quando roteadores se tornam vizinhos através do protocolo de distribuição de caminhos, eles anunciam seus rótulos para suas rotas que foram descobertas por protocolo IGP entre si, mas as rotas padrão BGP não serão descobertas entre eles.

O protocolo BGP encontra a principal diferença entre as redes MPLS e as redes não MPLS. Em vez de colocar o protocolo BGP em cada roteador, ele é necessário apenas nos roteadores de borda da rede.

O protocolo BGP não é necessário no núcleo da nuvem MPLS porque o LER (*label edge router*) de entrada do pacote, que precisa ter rotas BGP completas, conhece o próximo *hop* para todas as rotas descobertas por BGP. Os problemas de escalada devido a grandes malhas IBGP podem ser resolvidos usando refletores ou confederações de rotas. As oscilações de rota fora da rede podem ocasionar instabilidade no núcleo, e quanto menos for falado BGP no núcleo, certamente menos aspectos gerenciais serão necessários.

### 8.1.29 Mecânica de encaminhamento

Os principais pontos que diferenciam o encaminhamento MPLS do encaminhamento IP são:

- O encaminhamento IP é baseado no endereço IP de destino e na FIB.
- O encaminhamento MPLS é baseado no rótulo MPLS e na LFIB (*label forwarding information base*).

Tanto o encaminhamento MPLS quanto IP são feitos *hop por hop*. O encaminhamento IP envolve classificação de pacotes em cada *hop*, enquanto no encaminhamento MPLS, a classificação é feita apenas pelo LSR de ingresso.

A seguir, será mostrada a sequência de encaminhamento de um pacote IP dentro de uma rede MPLS, na qual não será relevante a forma de interligação entre as interfaces e o protocolo de roteamento utilizado para determinar os *next hops* (OSBORNE; SIMHA, 2002).

### 8.1.30 Vantagens do MPLS

Uma das maiores vantagens do MPLS é o fato de que se apresenta como uma implementação de comutação por rótulos padronizada.

O desenvolvimento de padrões resulta em um ambiente aberto com vários fabricantes sendo compatíveis. A competição também resulta em preços mais baixos e leva a mais rápidas inovações.

### 8.1.30.1 Rotas explícitas

Uma capacidade fundamental do MPLS é o suporte a rotas explícitas. Esse tipo de rota é bem mais eficiente que a opção original do IP. Também provêm uma parte da funcionalidade necessária à engenharia de tráfego. Caminhos roteados explicitamente também permitem a criação dos "túneis opacos", que podem levar qualquer tipo de tráfego previamente combinado entre os dois pontos remotos.

### 8.1.30.2 Suporte a multiprotocolo e multienlace

A função dos componentes de encaminhamento para as redes e nuvens MPLS não contém nenhum tipo de especificação para camada de rede em si. O mesmo componente de encaminhamento poderia ser empregado para transportar os protocolos IP ou o IPX operar sob qualquer protocolo de enlace existente no mercado.

### 8.1.30.3 Modularidade

Ao estudar as redes MPLS, fica evidente a separação entre as funções de encaminhamento e as funções de controle, em que cada fundamento pode implementar inovações sem provocar prejuízos ou efeitos colaterais ao outro.

### 8.1.30.4 O roteamento inter-domínio

Uma separação mais complexa entre o roteamento inter-domínio e o roteamento intra-domínio promove uma expressiva melhora na estabilidade dos processos do roteamento e ainda faz com que se reduza sistematicamente o conhecimento das rotas necessárias dentro de um domínio específico.

### 8.1.30.5 Suporte a todos os tipos de tráfego

As redes MPLS também promovem outras vantagens que são menos visíveis quanto ao suporte ou a qualquer tipo de encaminhamento de pacotes específicos. O MTS promove essas funções a qualquer tipo de serviço existente no mercado.

### 8.1.31 Formação de VPNs

As redes MPLS permitem aos operadores de sistema a criação de redes virtuais privadas com grande facilidade, promovida pelo protocolo IP juntamente com os atributos de qualidade de serviço herdados do ATM. Os rótulos são separados e garantem total privacidade entre as redes virtuais privadas. A criação das redes virtuais privadas aparece elencada como das principais aplicações para as redes MPLS para muitos operadores de serviços.

Outra vantagem da utilização das redes MPLS está relacionada à redução sistemática do número de circuitos virtuais permanentes, que são configurados para atender às necessidades dos clientes. O trabalho de provisionamento ficou muito simplificado e o serviço reduziu sistematicamente seu custo para o usuário final, já que o cliente agora só precisa de um circuito virtual permanente, da borda para

a nuvem MPLS. Essa característica permite aos usuários uma conectividade conhecida por *full mesh*, permeada por toda a estrutura de redes virtuais privadas.

Podemos tomar como exemplo a formatação de uma rede virtual privada que possui cinco localidades remotas. Será preciso criar cinco circuitos virtuais permanentes, um especificamente para cada.

As redes virtuais privadas, que são baseadas na camada de enlace para atribuição dos seus circuitos virtuais, passaram a ser um fator negativo para gerência da rede, que é responsável por grandes clientes com um grande número de redes virtuais privadas. Isso é substancialmente complexo devido à enorme quantidade de circuitos virtuais permanentes que precisam ser provisionados e gerenciados pela estrutura. No entanto, talvez essa não seja uma questão tão dramática em relação à gerência, porque muitas dessas grandes redes possuem uma topologia singular do tipo *hub spoken*, ou mais complexas, como uma malha parcial. Dessa forma, os pontos remotos que ficam mais distantes podem se comunicar uns com os outros através de outros pontos posicionados estrategicamente na topologia.

Quando se aplicam as redes MPLS às soluções de redes virtuais privadas, são utilizados túneis baseados no protocolo LSP para o encaminhamento dos dados entre os roteadores de borda e os provedores de serviços da rede virtual privada. Ocorre também a utilização de rótulos dos dados em uma rede virtual privada no ingresso do túnel, e o protocolo LSP da rede virtual privada do resto dos dados flui pelo *backbone* do provedor de serviços. Essa função é imperativa para permitir as seguintes características existentes nas redes MPLS:

- Prover comunicação privativa e segura entre redes remotas.
- Prover o mesmo nível de segurança que VPNs de camada 2, por restringir a distribuição de rotas da VPN apenas aos roteadores participantes.
- Possibilitar aos clientes escolher os próprios planos de endereçamento, com a possibilidade de usar IP não válidos.
- Possibilitar maior escalabilidade com a VPN MPLS do que com as demais tecnologias de VPN.
- Suportar melhor o modelo de comunicação *any-to-any* entre os *sites* da VPN.
- Disponibilizar CoS (classe de serviços), com suporte a diferentes classes de serviço dentro de uma mesma VPN.

### 8.1.32 Qualidade de serviço

Foi tão grande a aceitação da convergência para as redes de longa distância que se promoveu uma forte demanda por diferentes tipos de serviços dentro da mesma rede. Essa forte demanda requer qualidade de serviço que seja incorporada pela rede para que os pacotes IP sejam tratados de acordo com suas prioridades para cada tipo de aplicação e fluxo de dados.

O protocolo MPLS possui mecanismos de classificação das classes de serviço de acordo com seu nível de prioridade explicitado em cada aplicação. Para essa função, usa o campo EXP/CoS com 3 *bits* de tamanho.

Esse protocolo também oferece suporte melhorado para as arquiteturas do protocolo IP que envolvem qualidade de serviços com os outros IntServ e DiffServ. Para as aplicações do IntServ, o mecanismo empregado é o RSVP, que permite o cálculo do protocolo LSP observando a necessidade de cada banda necessária para uma construção dos túneis.

A associação de um determinado fluxo de pacotes através de uma FEC específica é estabelecida uma única vez quando esse pacote ingressa em uma nuvem MPLS a partir do roteador de borda. Esse roteador, então, faz uso de uma análise do tipo de serviço do pacote IP e aplica o valor para o campo EXP dentro do protocolo MPLS.

### 8.1.33 Engenharia de tráfego

Observando a sistemática bastante simples dos mecanismos de comutação por rótulos empregados nas redes MPLS, é possível engenhar mecanismos que podem abranger uma série de questões críticas para os serviços da internet. Uma das aplicações mais requisitadas que envolve o MPLS está na área da engenharia do tráfego.

Observando as redes MPLS, fica evidente a importância da engenharia do tráfego porque oferece altos níveis de funcionalidade para os modelos sobre camadas e também a possibilidade de automatização das funções de engenharia de tráfego.

As questões mais importantes relativas à engenharia de tráfego para as redes MPLS são listadas a seguir:

- Suporte a roteamento explícito de maneira eficiente, os quais podem ser criados pelo operador ou de forma automática pelos protocolos (possivelmente a característica mais importante introduzida pelo MPLS para a engenharia de tráfego).
- Os LDPs podem ser mantidos de maneira eficiente.
- Troncos de tráfego podem ser instanciados e mapeados em LSPs.
- Pode-se associar um conjunto de atributos a um tronco de tráfego de forma a reger suas características comportamentais.
- Podem-se associar atributos a recursos de forma a restringir a criação de LSPs e troncos de tráfego através deles.
- O MPLS permite agregação e desagregação de tráfego, ao passo que o encaminhamento baseado no esquema clássico do IP permite apenas agregação.



- É simples integrar mecanismos de roteamento baseados em restrições (*constraint based routing*) com o MPLS, o que também será chave para a introdução de serviços diferenciados.
- O MPLS pode oferecer um *overhead* menor do que outras soluções para engenharia de tráfego.

## 8.2 A tecnologia WDM e a tecnologia DWDM

### 8.2.1 História

A tecnologia de transmissão ótica teve sua estreia no mercado da comunicação no início do ano de 1977, quando foram anunciados os primeiros testes da novidade pelos laboratórios de pesquisa. As primeiras aplicações utilizavam fibras óticas padrão multimodo para transmissão da radiação luminosa, que era gerada a partir de diodos a *laser* (*light amplification by stimuleted emission of radiation*).

As principais preocupações dos fabricantes dos equipamentos e das corporações da área de telecomunicação eram relacionadas à confiabilidade do sistema e à vida útil desses novos sistemas a *laser*. Porém, essas preocupações acabaram quando, em junho desse mesmo ano, os laboratórios da Bell Systems mostraram a real confiabilidade desses novos aparatos ao anunciar resultados de testes de vida útil. Esses equipamentos poderiam suportar mais de um milhão de horas de funcionamento contínuo, o que seria superior a 100 anos.

Dessa forma, o mercado, os fabricantes e as empresas logo começaram a fabricar e instalar sistemas comerciais que operavam com taxas de 45 megabits por segundo e possibilitavam a transmissão de informações por sinais luminosos a distâncias razoáveis, com uma taxa de transmissão considerável para a época.

É importante dizer que essa distância era limitada pelo coeficiente de atenuação das fibras óticas devido ao padrão multimodo como eram fabricadas na época, a uma taxa de aproximadamente 2 decibéis por quilômetro. No entanto, essa distância podia ser amplificada e estendida com o emprego de repetidores ao longo do caminho.

A função base dos repetidores era uma amplificação do sinal luminoso, convertendo o que seria conhecido por radiação luminosa, também conhecida por sinais óticos, para sinais elétricos, que eram amplificados e processados e, em seguida, reconvertidos aos sistemas de sinais óticos.

Esse tipo de conversão foi dominado de conversão ótica-elétrica-ótica, a qual até os dias de hoje não costuma ser bem apreciada, principalmente à medida que aumentam os custos e o grau de complexidade dos equipamentos envolvidos na transmissão.

A partir desse momento, começaram a surgir novas gerações de equipamentos que utilizavam uma nova classe de *laser* baseada na tecnologia InGaAsP (*iridium galliun arsenide phosphide*), que propicia uma operação no comprimento de onda de 1310 nanômetros e apresenta um coeficiente de atenuação melhor do que o anterior, que operava na ordem de 0,5 decibel por quilômetro.

Nesse momento, a região de espectro se encontrava dentro desse comprimento de onda e foi chamada de segunda janela.

Rapidamente, em 1978, um novo projeto foi iniciado em conjunto com AT&T, o correio britânico e o STL, para a construção de um cabo submarino que utilizaria fibras óticas no formato monomodo. Com esses novos sistemas óticos operando a 1310 nanômetros, seria possível interligar os Estados Unidos e a Inglaterra, que poderiam entrar em operações comerciais a partir de 1988. Ao fim desse mesmo ano de 1978, o laboratório Ibaraki, do Japão, estabeleceu um novo recorde de distância utilizando fibras óticas do tipo monomodo, com expressivos coeficientes de atenuação de apenas 0,2 decibel por quilômetro e operando a 1550 nanômetros.

Essa nova região de espectro que se encontrava em torno dos 1550 nanômetros foi chamada de terceira janela.

Desse período em diante, os novos desenvolvimentos passaram a se tornar bem mais rápidos, trazendo o desenvolvimento dos amplificadores de sinais óticos com finalização puramente ótica, e foram chamados de solitons. Os novos dispositivos de sistemas óticos então passaram a ser empregados em novas tecnologias que deram origem ao DWDM e outras.

### 8.2.2 A tecnologia DWDM

A radiação luminosa, feixe de luz de comprimento de onda  $\lambda$ , se propaga em uma fibra, observando em particular uma FO (fibra ótica) do tipo monomodo.

Para avaliar esse fenômeno, poderemos montar uma configuração experimental, usando como fonte de luz um *laser*, que pela própria característica, tomando alguns cuidados, como o controle de temperatura e também o da alimentação, ocasiona radiação luminosa com comprimento de onda.

Embora a palavra cor seja largamente utilizada para designar comprimento de onda, ela é imprópria, pois lembramos que, até hoje, os sistemas óticos operam em uma determinada região infravermelha do espectro fotônico (assim chamado por fazer o uso de fótons para a transmissão e não de elétrons, como nos sistemas convencionais), denominada NIR. Eles não têm, portanto, cor alguma, pelo simples fato de estarem fora da VL (região visível).

### 8.2.3 Tecnologia WDM, transmissão bidirecional e unidirecional

#### 8.2.3.1 Transmissão unidirecional

Se injetarmos em uma fibra ótica, como descrito anteriormente, dois comprimentos de onda distintos  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ , com um razoável espaçamento entre eles, temos o seguinte:

- Para  $\lambda_1$ , usaremos como fonte de luz ou emissor de radiação luminosa um *laser* com comprimento de onda de 1.310 nm, que será nosso transmissor ótico nº 1.

- Para  $\lambda_2$ , usaremos um *laser* com comprimento de onda de 1.550 nm, que será nosso transmissor ótico nº 2.

Esses dois comprimentos de onda se propagarão normalmente e sem interação nesta FO. Usando uma analogia, seria como água e óleo percorrendo um mesmo cano, sem se misturar.

Temos dois comprimentos de onda,  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ , que se propagam em um mesmo sentido ou direção, o que por essa razão é denominado transmissão unidirecional em uma fibra ótica.

### 8.2.3.2 Transmissão bidirecional

Avaliamos a viabilidade de injetar um dos dois comprimentos de onda  $\lambda_1$  ou  $\lambda_2$  em sentido ou direção oposta, sem haver qualquer perturbação. Isso é denominado transmissão bidirecional em uma fibra ótica.

### 8.2.4 Tecnologia WDM, a curva característica

As características de curva em uma tecnologia WDM utilizando fibra ótica são atingidas pelo levantamento dos valores dos coeficientes de atenuação  $\alpha$  desse segmento de fibra ótica em função da frequência de operação representada pelo comprimento de onda  $\lambda$ .

Ao visualizar essa curva característica de uma fibra ótica do tipo monomodo, os comprimentos de onda  $\lambda_1$  (1.310 nm) e  $\lambda_2$  (1.550 nm) se mostram em parâmetros que apresentam coeficientes de atenuação em valores baixos, condição necessária para uma boa propagação de luz na fibra.

A perda ótica, também conhecida como atenuação, ocorre em decorrência das absorções extrínsecas à composição dos materiais utilizados na fabricação da fibra ótica, infelizmente, de forma indesejável em alguns materiais que contêm íons oxidrila ( $\text{OH}^+$ ).

Para o conhecimento técnico da área de telecomunicação, esse fenômeno é conhecido por atenuação por pingo d'água. Cientificamente, é uma denominação incorreta porque são exatamente os íons oxidrila que provocam esse tipo de atenuação e não a água.

Para tais análises, a denominação correta que deve ser utilizada é a atenuação por perda de luz por absorções extrínsecas dos materiais, especificamente, pelos íons oxidrila, ou ainda, de forma mais simplista, atenuação por íons oxidrila, ou atenuação por pico de OH.

### 8.2.5 Tecnologia WDM, uma comparação com a TDM

Ao utilizarmos o *laser* que tenha características de operação em comprimentos de onda que possuem uma baixa atenuação, como é o caso dos *lasers* que operam em torno de 1310 ou 1550 nanômetros, empregando digitalmente uma modulação feita por chaveamento por domínio de tempo, verificamos que ao injetarmos em uma fibra ótica um sinal luminoso, este aparecerá na outra extremidade em forma de informações ou dados que foram inseridos originalmente na entrada.

Basicamente, esse é o princípio da transmissão de fibra ótica utilizando tecnologia de multiplexação por divisão de tempo, conhecido também por *time division multiplexing*.

É sabido que essa tecnologia é aplicada largamente nos dias de hoje – ela é altamente confiável e tem evoluído ao longo dos anos. As taxas de transmissão que se iniciaram em 155 megabits por segundo foram, posteriormente, melhoradas para 622 megabits, 2,5 gigabits, 10 gigabits e 40 gigabits por segundo. As capacidades tecnológicas na construção de novos equipamentos permitem taxas iguais ou superiores a 80 gigabits por segundo.

Porém, essa tecnologia usa muito pouco da capacidade de transmissão de uma fibra ótica – menos que 1% –, acrescentando a isso os custos operacionais muito superiores se comparados a outros sistemas óticos até mais avançados. Ainda devemos lembrar que essas tecnologias não permitem o aumento de taxas de transmissão para sistemas que já estão implementados.

A tecnologia de multiplexação por divisão de tempo empregada para aumentar a taxa de transmissão de uma rede de telecomunicações, nos dias de hoje, é encarada como mais um módulo operacional e resulta no crescimento pela demanda de tráfego base de 622 megabits por segundo para 2,5 gigabits por segundo. Por isso, somos obrigados a fazer uma opção por uma das seguintes alternativas de mercado:

- Alternativa 1: proceder ao desativamento do circuito de transmissão dos equipamentos que utilizam a multiplexação por divisão de tempo de 622 megabits e promover remoção, instalação e testes de ativação dos novos equipamentos para uma multiplexação por divisão de tempo na classe de 2,5 gigabits, empregando o mesmo par de fibra ótica existentes, o que acarreta um período considerável de paralisação e promove o lucro cessante da companhia em manutenção.
- Alternativa 2: promover um sistema paralelo para manter a disponibilidade do sistema antigo de fibras óticas. Nesse caso, não haveria a possibilidade de interrupção; assim, o equipamento que foi removido poderá até ser utilizado em outro local ou segmento desse sistema de rede, porém, ao longo do tempo, ele sofrerá a implementação de sistemas mais modernos.
- Alternativa 3: na existência da disponibilidade de vários pares de fibra ótica nos feixes de fibras principais que constituem a alimentação de sistema, promover a instalação de mais três sistemas de multiplexação por divisão de tempo iguais ao existente de 622 megabits, totalizando quatro sistemas de 622 megabits, com possibilidade de tráfego total de 10 gigabits por segundo, lembrando que o sistema de multiplexação por divisão de tempo opera nas velocidades de 622 megabits por segundo.
- Alternativa 4: na ocasião de não ocorrer fibra ótica disponível para o segmento da rede ou haver a necessidade de implementar equipamentos, é estritamente necessária a instalação de novos cabos de fibra ótica, que promoverão um custo operacional maior e ainda enfrentarão uma instalação mais demorada.

Logo, a ampliação dos sistemas de multiplexação por divisão de tempo sempre se faz através de equipamentos novos, com a utilização das mais modernas tecnologias de fibra ótica.

Num primeiro momento, podemos entender que a tecnologia de multiplexação por divisão de tempo é uma tecnologia ultrapassada, mas esses sistemas de multiplexação por divisão de tempo evoluíram ao passar dos anos e ainda continuam em evolução, partindo para novas tecnologias. Algumas tecnologias, como os sistemas WDM, estão sendo incorporadas a novas soluções como o DWDM.

Citamos algumas das principais características desses novos sistemas:

- Solitons: tipo especial de pulsos de luz que mantém sua forma original, geralmente gaussiana, ao se propagar por longas distâncias, em uma fibra ótica.
- FEC: do inglês *forward error correction*, é uma técnica que permite um aumento de ganho de vários decibéis (dBs), pelo uso de *bits* adicionais, que permitem a correção de erros.
- Amplificadores **óticos** especiais: amplificam diretamente o espectro luminoso, sem fazer a indesejável conversão O-E-O (**ótica**-elétrica-**ótica**).
- Compensadores dinâmicos de PMD (*polarization mode dispersion*): são dispositivos para minimizar um dos efeitos não lineares apresentados pela fibra ótica.



### Lembrete

O conceito do WDM foi publicado pela primeira vez em 1978. Por volta de 1980, sistemas WDM estavam sendo realizados no laboratório. Os primeiros sistemas WDM combinavam apenas dois sinais; já os sistemas modernos podem combinar 160 sinais e podem assim expandir um sistema básico de 100 Gbit/s sobre um único par da fibra de 16 Tbit/s.

## 8.2.6 Tecnologia ótica e considerações sobre o WDM, o CWDM e o DWDM

A tecnologia WDM (*wavelength division multiplexing* ou multiplexação por divisão de comprimento de onda) é basicamente a combinação de múltiplos sinais óticos com diferentes comprimentos de onda que são devidamente espaçados entre si e injetados e que se propagam em uma mesma fibra ótica núcleo.

Assim, a tecnologia WDM tem a capacidade de transmitir sinalização em regiões que podemos denominar bandas ou janelas, onde a fibra ótica deve apresentar menor atenuação, empregando sistematicamente vários comprimentos de onda de forma simultânea.

### 8.2.6.1 CWDM

A tecnologia CWDM favorece o novo tipo de equipamento comparado ao WDM, possui custo operacional mais baixo e recebe fabricação em larga escala. É indicada, preferencialmente, para ser usada em redes metropolitanas e de acesso massivo.

A tecnologia CWDM (*coarse wavelength division multiplexing*) apresenta características de um bom espaçamento entre os canais, cerca de 20 nanômetros, em um espectro ótico que vai de 1270 nanômetros a 1610 nanômetros e que hoje permite aplicação em até 18 canais.

Devemos estar atentos para uma confusão comum no mercado de tecnologia, pois é muito fácil confundir a CWDM com outra tecnologia conhecida por WWDM (*wide wavelength division multiplexing*), que consiste em dispositivos passivos que utilizam dois canais com comprimentos de onda distintas em 1310 nanômetros e 1550 nanômetros, usadas principalmente para possibilitar a duplicação da transmissão de dois sinais óticos em uma única fibra ótica ou de até quatro sinais óticos em um par de fibras.

Esse tipo de equipamento é comercialmente conhecido como duplicador ou quadruplicador de sinais. Por ter uma estrutura bastante simples e um custo muito baixo, é utilizado preferencialmente em redes de acesso na falta de cabos de fibra ótica em algumas regiões do segmento de rede pública.

Uma das características desse equipamento é a utilização limitante de uma distância do enlace ao outro, principalmente em decorrência dos altos níveis de atenuação, os quais inviabilizam ou ainda tornam extremamente críticos os mecanismos de enlace original sem o emprego dessa solução.

### 8.2.6.2 DWDM

Embora os equipamentos DWDM sejam considerados como parte de um sistema de transmissão de dados ótico, que é utilizado especificamente por empresas de telecomunicações, a primeira geração de equipamentos comercialmente disponibilizados utilizava esse tipo de tecnologia. No entanto, ele não foi lançado por fabricantes de equipamentos da área de telecomunicações, o que seria uma coisa muito comum para o mercado, mas foi lançado e desenvolvido por um fabricante tradicional de equipamentos computacionais, a IBM.

Algumas ideias sobre os fatores que contribuíram para o lançamento dessa tecnologia:

- A necessidade de um equipamento para promover a transmissão que possibilite a interconexão ponto a ponto entre os chamados computadores de grande porte dos centros de processamento de dados que estejam localizados dentro de uma mesma cidade, com finalidades de redundância e *backup* e qualquer outro serviço necessário para as tarefas, para se obter altas taxas de transmissão e permitir, quando possível, um fácil e rápido aumento de sua capacidade operacional.
- A lentidão das empresas de telecomunicações da época em expandir os sistemas de fibra ótica necessários para atender a demanda crescente da tecnologia de comunicação de longa distância, promovida principalmente pelo aumento do tráfego e por novas interligações.
- Uma forte alta de preços que eram praticados pelas empresas de telecomunicações da época, principalmente para as interconexões ponto a ponto que utilizem fibras óticas como segmento do meio físico.

- A escassez de fibra ótica nos segmentos de cabos de redes óticas das empresas de telecomunicação da época, sobretudo em grandes centros populacionais.

Dessa forma, em 1994, foi introduzido no mercado o equipamento IBM 9729 Optical Wavelength Division Multiplexer, em dois modelos: 041 e 001. Esses equipamentos possuíam características de modularidade e ainda permitiam a configuração simples em seção de unidades modulares do tipo cartão, dos dois lados da ponta de enlace, dando características de ampliação e acréscimo de canais na medida da necessidade do cliente e ainda possibilitando a utilização de 1 a 4 canais bidirecionais (totalizando 8 canais ou 8 comprimentos de onda no total) e chegando a até 10 canais bidirecionais (totalizando até 20 canais de comprimento de onda).

Os modelos que apresentavam essas características estão classificados dentro da terceira janela da evolução da tecnologia e operavam entre 1540 e 1559 nanômetros com canais ou comprimentos de onda incrementados em apenas um nanômetro. Esses equipamentos ainda utilizavam fibras óticas do tipo monomodo com uma taxa de atenuação muito baixa, em torno de 0,2 decibéis por quilômetro, um padrão para a época, que permitia o tráfego de canais com taxas superiores a 200 megabits, sempre associado a uma interface proprietária da IBM, e operavam a distâncias de 43 a 50 km no formato bidirecional, utilizando apenas uma fibra ótica par, que era fornecida pelas empresas de telecomunicação. Ocasionalmente, poderiam ser fornecidos outros tipos de interfaces, como FDDI (100 Mbps), OC 3 ou STM 1 (155 Mbps), Fast Ethernet (100 Mbps), Sysplex Timer (16 Mbps) e ainda interfaces para *links* proprietários de acoplamento (1 Gbps).

Uma característica desses equipamentos é relacionada à alimentação de energia, pois, ao contrário da maioria dos equipamentos de telecomunicações da época, cujo padrão de alimentação era a corrente contínua com uma tensão nominal de 48 volts, esses equipamentos apresentavam uma única opção de alimentação, uma corrente alternada com tensões que variavam de 110 a 220 volts, e ainda operavam a uma frequência de 50 a 60 hertz, padrão utilizado pela maioria dos centros de processamento de dados.

Ainda nos dias atuais, esse equipamento é empregado no Brasil, principalmente por instituições financeiras e bancos. Por volta de 1996, vários fabricantes da área de telecomunicação apresentaram suas próprias versões de equipamentos DWDM.

Algumas propriedades da tecnologia no mundo:

- Domínio pleno e massificação dessa tecnologia.
- Utilização das redes de cabos de fibras óticas já existentes nas empresas de telecomunicações.
- Talvez a melhor relação custo/benefício que se apresentava para equipamentos de telecomunicações, levando-se em conta o número de canais associados a altas taxas de transmissão.
- Grande número de fabricantes de componentes opto-eletrônicos, oferecendo praticamente todos os componentes e módulos necessários para a montagem de equipamentos DWDM.



- Redução do tamanho, da complexidade, do consumo de energia elétrica, do preço e do aumento da confiabilidade dos componentes opto-eletrônicos.
- Grandes perspectivas de venda, para aplicação em redes fotônicas de acesso, metropolitanas, estaduais, nacionais e internacionais (submarinas).
- Perspectivas de um grande aumento do tráfego telefônico de voz e de dados, este último, principalmente, motivado pelo fenômeno da internet.
- Novos tipos de cabos de fibras óticas e melhoria nos parâmetros das fibras.

Estão comercialmente disponíveis equipamentos DWDM para:

- Redes de acesso.
- Redes metropolitanas (normalmente chamadas abreviadamente de metro).
- Redes de longa distância (geralmente denominados LH, do inglês *long haul*, que em tradução livre significa transporte de longa distância).
- Redes submarinas, também chamadas de ULH (do inglês *ultra long haul*).

### 8.2.6.3 Os equipamentos

Praticamente todos os fabricantes de tecnologia DWDM possuem uma forte tendência para a fabricação de novos equipamentos que possam operar um número maior de bandas e que tenham menor espaçamento e taxas de transmissão cada vez maiores, sendo as mais usuais as taxas de 10 gigabits e 40 gigabits.

### 8.2.6.4 Equipamentos DWDM com altas taxas de transmissão

Analisando os aspectos da economia em todos os segmentos do mercado e apesar da crise que as companhias de telecomunicação vêm sofrendo, os componentes eletro-óticos têm apresentado grande evolução tecnológica. Eles trazem novas gerações de equipamentos DWDM e apresentam altas taxas de transmissão, operando a 40 gigabits até 80 gigabits por segundo.

Esses equipamentos trazem as seguintes vantagens operacionais:

- Alta capacidade de transmissão devido às taxas mais altas.
- Melhora dos sistemas de modulação pela introdução do esquema NRZ (*non return to zero*) em substituição ao tradicional esquema RZ (*return to zero*).
- Introdução de FEC ou outros sistemas de correção de erros.



- Menores espaçamentos entre canais.
- Aumento da confiabilidade desses componentes, geralmente expressa em MTBF (do inglês *mean time between failures* ou tempo médio entre falhas).
- Redução no tamanho físico dos componentes.
- Redução nos seus preços.

Além disso, podemos dizer que os novos equipamentos DWDM, que possuem taxas de transmissão mais altas, permitem menor número de componentes eletro-óticos, implicando diretamente em:

- Equipamentos com menores pesos e dimensões.
- Menor ocupação de espaço físico, no local onde esses equipamentos são instalados.
- Menor consumo de energia elétrica.
- Menor carga térmica (calor emitido pelo equipamento, que tem que ser absorvido e dissipado pelo equipamento de ar condicionado).
- E ainda é provado, por meio de formulações matemáticas, que quanto menor o número de componentes em um equipamento, maior será a confiabilidade apresentada por ele, o que pode também ser traduzido como um aumento na disponibilidade sistêmica.

Esses novos equipamentos permitem ainda adotar algumas alternativas que tornam a sua utilização mais flexível e econômica, das quais podemos citar as seguintes:

- Uso de um menor número de canais, decorrente das altas taxas de transmissão utilizadas.
- Uso de amplificadores óticos de baixa complexidade e, portanto, de menor custo, pois a largura espectral (decorrente do uso de um pequeno número de canais próximos, que serão amplificados) será menor e, conseqüentemente, os problemas que normalmente ocorrem com a linearidade desses dispositivos, que geralmente são administrados pelo uso de equalização dinâmica, podem ser mais facilmente equacionados.
- Espaçamentos maiores entre canais que, em certos casos, possibilitam usar *lasers* com menor estabilidade, o que implica em custos menores.
- No caso do emprego de *laser* sintonizáveis, se utilizarmos um número reduzido de canais, a faixa de excursão também ficara reduzida, não necessitando, por exemplo, ser sintonizável em toda banda C ou L, o que torna possível o uso de dispositivos de menor complexidade e, por decorrência, custo.

- Devido ao menor número de canais, os custos envolvidos para sistemas de proteção e contingência se apresentam menores.
- Para a implantação das novas redes comutadas totalmente óticas, comumente denominadas de ASON ou ASTN (respectivamente, *automatically swiched optical networks* e *automatically swiched transport networks*), o custo é diretamente proporcional ao número de canais comutados, logo, quanto menor o número de canais, menor será o custo.
- Os cabos de fibras monomodo do tipo DS (*dispersion shifted* ou dispersão deslocada) foram amplamente utilizados pelas empresas de telecomunicações no Brasil e já se encontram instalados, principalmente em interligações de longa distância.



### Observação

No caso da instalação desses novos equipamentos, que possuem taxas de transmissão extremamente elevadas, sobre fibras DS já existentes, para assegurar um bom desempenho, deverão obrigatoriamente ser levantadas em campo, através de medidas precisas, os parâmetros característicos destas fibras, atentando principalmente para a PMD (*polarization mode dispersion*), pois caso ela seja muito elevada, criará sérias dificuldades.

- Aspectos relacionados ao emprego desses novos equipamentos:
  - A tendência que tem se verificado é que equipamentos com taxas de transmissão mais elevadas apresentam custos inferiores do que aqueles com maior número de canais necessários para atingir a mesma capacidade.
  - Em outras palavras, um equipamento com um canal de 2,5 Gbps tem menor custo que um equipamento com quatro canais de 622 Mbps, um de 10 Gbps custará menos que quatro de 2,5 Gbps e, proximamente, um equipamento com um canal de 40 Gbps custará menos do que um equipamento com quatro canais de 10 Gbps.
  - Menores custos de operação e manutenção devido ao MTBF dos novos componentes eletro-óticos.
  - Simplificação dos sistemas de gerência e supervisão intrínsecos ao próprio equipamento.
  - Tempo de instalação reduzido e com custos menores.
  - Menores custos de transporte do equipamento, decorrentes dos reduzidos valores de tamanho e peso.

- Novas implantações:
  - Passa a existir a possibilidade de instalação desses equipamentos em edificações comuns, que não precisam mais possuir as características encontradas nos prédios normalmente usados, até os dias de hoje, para abrigar equipamentos de telecomunicações.
  - Possibilidade de instalação desse tipo de equipamento em prédios de clientes ou de terceiros.

Em março de 2003 foi apresentado em Atlanta, nos Estados Unidos, na Conferência Internacional da Comunicação em Fibra Ótica, um novo equipamento DWDM que possibilitava a transmissão de 40 canais a 40 gigabits, totalizando uma capacidade global de 1,6 terabits por segundo, a uma significativa distância de 10.000 km, sem o uso de repetidores elétricos, empregando a cada 100 km de distância amplificadores óticos de última geração.

### 8.2.6.5 Equipamentos DWDM com espaçamento reduzido entre canais

Os equipamentos óticos da atualidade apresentam características para espaçamento de canais que variam de 50 giga-hertz até 100 giga-hertz.

A variação do número de canais que os equipamentos DWDM podem apresentar vem de uma característica variável em relação à quantidade de espaçamento necessário ou implementação de espaçamento menor ainda para se alcançar um número maior de canais.

### 8.2.7 Multiplexação e demultiplexação, *transponder* e OXC

#### 8.2.7.1 MUX e Demux

Em um sistema WDM, vários sinais óticos de mesma intensidade, com espaçamento regular e adequado, apresentando o comprimento de onda altamente estável, são combinados em um dispositivo ótico do tipo passivo e denominado multiplexador ótico ou simplesmente MUX.

Observando as extremidades da fibra ótica, exatamente do lado oposto, chamamos um equipamento demultiplexador ótico conhecido como Demux.

#### 8.2.7.2 *Transponder*

Uma das tarefas bastante complexas é a obtenção dos comprimentos de onda na faixa entrante em um multiplexador ótico, sobretudo com sinais que possuem a mesma intensidade e com um espaçamento regular entre eles.

Para equalizar a situação, o sistema WDM criou um subsistema conhecido por *transponder*. Sua função é uniformizar a intensidade e os comprimentos de onda dos sinais óticos recebidos e ainda normatizar um espaçamento adequado entre os canais.

### 8.2.7.3 Tecnologia OADM

No início, os sistemas de tecnologia DWDM que possuíam um enlace do tipo ponto a ponto não podiam sofrer manutenção relacionada ao tipo de espaçamento onde fosse necessário adicionar ou retirar canais enlace ao longo do sistema. Porém, em pouco tempo, foram desenvolvidas novas tecnologias, chamadas de tecnologias OADM (*optical add and drop*), que permitem que o comprimento de onda seja retirado, ajustado e adicionado ao longo de um sistema com canais de enlace.

De início, esses sistemas possuem uma denominação estática; assim, os comprimentos de onda retirados e inseridos sempre eram fixos.

Apesar de simples e de ter um custo relativamente baixo, esse sistema tem suas limitações:

- No caso de inserção ou derivação de mais canais, é necessária a presença de pessoal técnico no local onde será feita essa operação, para a colocação de módulos no equipamento, sendo geralmente um módulo para cada comprimento de onda.
- Existe a necessidade da existência de estoque de todos os módulos com os diferentes comprimentos de onda, utilizados no sistema, como partes de reposição.

Com o surgimento dos diodos *lasers* sintonizáveis, uma parte do problema descrito foi resolvido, pois não seria mais necessário ter em estoque, para fins de troca e reposição, unidades de *add and drop*, mas sim algumas unidades, que no caso de serem utilizadas, seriam sintonizadas em campo para o comprimento de onda desejado.

Ao longo do tempo, fabricantes incorporaram em seus produtos a possibilidade de executar a inserção e retirada de comprimentos de onda, remotamente, permitindo assim o chamado ROADM (*reconfigurable optical add and drop*), ou seja, um OADM reconfigurável.

Alguns equipamentos da atualidade incorporam inclusive a possibilidade da conversão de comprimentos de onda, característica importante em sistemas de alta complexidade nos quais pode ocorrer o fenômeno indesejável de dois comprimentos de onda iguais.

### 8.2.7.4 OXC

Outro componente empregado na arquitetura de uma rede de transmissão ótica AON (*all optical network*) é a chamada OXC (*optical cross connect*), conhecida como chave ótica.

Uma chave totalmente ótica pode conectar qualquer sinal ótico entre  $n$  portas de entrada e  $n$  portas de saída, não necessitando, para isso, fazer qualquer tipo de conversão ótica-elétrica-ótica.

### 8.2.8 DWDM, os amplificadores óticos

A tecnologia DWDM incorpora o uso de amplificadores puramente óticos, que são aqueles responsáveis por amplificar exclusivamente a radiação luminosa na forma de fótons. Os amplificadores puramente óticos, também conhecidos como amplificadores óticos, são considerados com absoluta certeza um dos mais importantes do sistema de telecomunicação ótica. Sua finalidade é realizar a amplificação ótica dos sinais entrantes com aspecto transparente e independente do tipo de modulação ou protocolo utilizado pelo sistema.

Assim, o uso dos amplificadores óticos incorporado ao sinal ótico poderá ser transmitido a distâncias muito maiores sem a necessidade dos regeneradores do sinal ao longo do caminho.

Os regeneradores óticos são os equipamentos que fazem a conversão específica da radiação luminosa em energia elétrica, na forma de elétrons, e ainda promovem a amplificação elétrica seguida da reconversão em radiação luminosa, promovendo uma conversão ótica no padrão O-E-O. No caso de enlaces óticos que utilizam sistemas C/D/DWM, essa amplificação deve ser a mais uniforme possível, em todos os canais em que o sistema opera. Os amplificadores óticos são largamente empregados em sistemas de comunicações óticas, exercendo funções de amplificador de potência, *booster*, usado logo após o multiplexador, e amplificador de linha, colocado no meio de um enlace e também como pré-amplificador, logo antes do demultiplexador.

#### 8.2.8.1 Parametrização dos amplificadores óticos

Os parâmetros que normalmente definem um amplificador ótico são os seguintes:

- Faixa de operação [nm].
- Faixa de variação de potência de entrada [dBm].
- Faixa de variação de ganho [dB].
- Figura de ruído [dB].
- Potência de saída [dBm].
- Eficiência da conversão de potência [%].
- PDG (*polarization dependent G in*) [dB].
- PMD (*polarization mode dispersion*) [ps].

Os principais tipos de amplificadores óticos são os seguintes:

- Amplificadores óticos baseados em fibras óticas, geralmente denominados de OFAs (*optical fibre amplifiers*).
- Amplificadores óticos baseados em guias de onda óticas, normalmente chamados de OWGAs (*optical wave guide amplifiers*).

Podemos ainda subdividir os OFAs da seguinte maneira:

- EDFA (*erbium doped fibre amplifier*).
- EYDFA (*erbium ytterbium doped fibre amplifier*).
- PDFFA (*praseodymium doped fluoride fibre amplifier*).
- TDFFA (*thulium doped fluorid fibre amplifier*).
- RA (*raman amplifier*).

### 8.2.8.2 Híbridos

Os amplificadores óticos baseados em guias de onda óticas (OWGA) são subdivididos da seguinte forma:

- EDWA (*erbium doped waveguide amplifier*).
- SOA (*semiconductor optical amplifier*).
- LOA (*linear optical amplifier*).
- TIA (*transimpedance integrated amplifier*).

### 8.2.9 Compressão de ganho

Observando a forma como o amplificador ótico é utilizado, de forma independente, ele utiliza uma técnica chamada compressão do ganho. Essa técnica tem a função de reservar uma parte do ganho do amplificador ótico para compensar problemas sistêmicos e ainda problemas relacionados ao formato de amplificação em si.

Essas compensações sistêmicas são provenientes da degeneração das condições iniciais do projeto, sobretudo:

- Aumento da atenuação do enlace, devido à degradação das fibras óticas.

- Perda de sensibilidade pelo receptor ótico, geralmente por envelhecimento.
- Aumento da atenuação do enlace, pela introdução de emendas por fusão, devido a rupturas acidentais, no cabo de fibras óticas.
- Aumento da atenuação dos *jumpers* (cabos óticos usados na interligação dos equipamentos óticos) devido à realocação de equipamentos nas estações terminais e de passagem.
- Aumento da atenuação nos conectores óticos, principalmente quando sujeitos a um número elevado de manobras.

Os amplificadores óticos operam em uma determinada faixa de passagem (também chamada de banda passante) e apresentam variação de seu ganho, em função do comprimento de onda e da potência do sinal de entrada. Desse jeito, a amplificação de determinados comprimentos de ondas está limitada à faixa de passagem do amplificador ótico e à variação de ganho em função da potência do sinal de entrada.

No entanto, quando um sinal de pequena intensidade é aplicado na entrada de um amplificador ótico, inicia-se um processo de amplificação, proporcionando um alto ganho. Com o aumento do sinal de entrada, o ganho do amplificador diminui e a potência do sinal na saída diminui na mesma proporção. Essa situação acontece até um ponto onde um aumento da potência do sinal de entrada implica em uma queda da potência do sinal de saída.

O valor potência do sinal de entrada define a condição de saturação do amplificador, isto é, para sinais de entrada com intensidade superior ao ponto de saturação, não haverá uma amplificação significativa. Essa faixa em que o ganho está saturado denomina-se compressão de ganho.

A grande maioria dos fabricantes de tecnologia ótica emprega em seus equipamentos um ganho menor que o máximo ganho possível, logo abaixo da compressão de ganho, com a finalidade de poder garantir a operação do amplificador ótico, mesmo com uma diminuição indesejável da potência do sinal de entrada. Isso é feito para compensar algumas das degenerações das condições iniciais de projeto. O valor adotado para essa compressão é de 3 dB.

Veja a síntese:

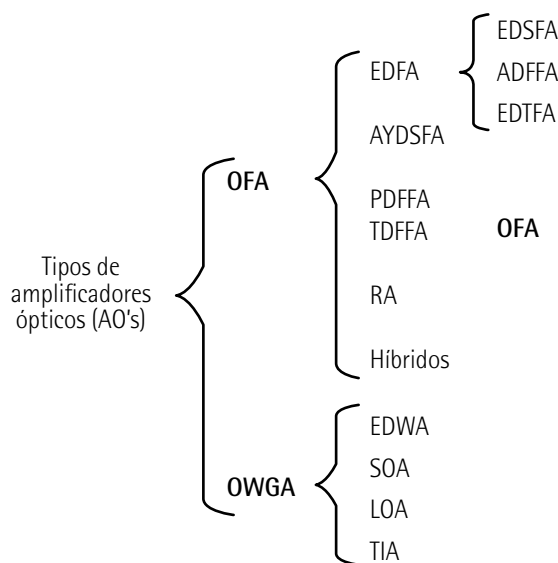


Figura 77 – Síntese DWDM

## 8.2.10 DWDM – correção de erros

Os mais diversos meios empregados para as transmissões digitais produzem ruídos. Alguns elementos externos contribuem para a interferência, mas também podem ser relacionados à própria tecnologia, promovendo alterações ou, até mesmo, a perda do sinal digital enquanto os dados são transferidos, para mitigar essas condições de erro uma técnica conhecida por FEC (*forward error correction*), permite, através de interações no sinal digital que está sendo transmitido, a implementação de melhorias da *performance* sistêmica.

Essa técnica foi desenvolvida em 1948, por Claude Shannon, que através de códigos de correção de erro compensou essas variações e quaisquer outros problemas relacionados ao ruído e também alguns outros elementos relativos ao próprio meio de transmissão.

No início da década de 1960, dois membros do Laboratório Lincoln do MIT, Irving S. Reed e Gustave Solomon, desenvolveram um código de correção de erro que se denominou RS (Reed-Solomon), o qual é, até hoje, largamente utilizado.

A primeira versão dessa técnica de correção de erro pelo código RS foi efetuada em 1980, em equipamentos de rádio micro-ondas digital, e os benefícios do emprego dessa tecnologia propiciaram ganhos extraordinários aos sistemas óticos.

Em 1990, foi introduzido o chamado OOB FEC (*out of band*) em sistemas óticos ULH intramarinhos, com o objetivo de reduzir o número de OLAs e também aumentar as distâncias desses enlaces.



Entre 1993 a 1996, o Grupo de Estudos 15 da ITU-T elaborou a recomendação para uso do FEC em sistemas óticos ULH submarinos, e em novembro de 1996, foi emitida a Recomendação G.975 – Forward Error Correction for Submarine Systems.

Desse momento em diante, tendo em vista as vantagens que a técnica OOB FEC proporcionava, foi iniciada a sua utilização em sistemas ULH e LH terrestres.

Em 1997, foi lançada comercialmente uma nova técnica FEC, denominada IB (*in band*), de projeto com concepção simplista e econômica, que tem como principal atrativo o aumento da distância entre lances.

A técnica IB-FEC é baseada no aproveitamento de *bits* que não são utilizados no *frame* do cabeçalho de sistemas SDH/Sonet, para o envio do código de correção, os quais permitem correções de aproximadamente oito erros por *frame*, possibilitando adicionar margens de até 3 dBs na relação sinal ótico/ruído, o que significa um aumento substancial da distância entre lances em comparação a outros sistemas que não empregam FEC.

Porém, o uso da técnica OOB-FEC, que permite correções de até 1.024 erros por *frame*, apesar de mais complexa e conseqüentemente um pouco mais custosa, permite as seguintes vantagens, em comparação a outros sistemas que não empregam FEC:

- Adicionar margens de até 9 dBs na relação sinal ótico/ruído.
- Quadruplicação do número de canais.
- Quadruplicação das taxas de transmissão.
- Aumento entre 30% e 40% das distâncias entre OLAs.
- Aumento do espaçamento entre regeneradores, de duas a quatro vezes.

Na atualidade, foram lançados comercialmente equipamentos para redes óticas metro que incorporam FEC. As razões para tal são as seguintes:

- Permitir a eliminação de *boosters* pela incorporação do FEC.
- Uso de componentes de menor custo e maior confiabilidade.
- Diminuição do número de componentes.
- Redução nas dimensões do equipamento.
- Redução do custo do equipamento.

- Redução do consumo de energia.
- Aumento do MTBF.
- Diminuição do MTTR.
- Facilidade para o aumento das taxas de transmissão.
- Facilidade para o aumento do número de canais.
- Aumento da distância entre nós, em uma rede metro.
- Permitir às operadoras ampliar os limites de utilização dos cabos já instalados há muito tempo e que pela idade tenham fibra ótica de baixa *performance*.

Em casos de o sistema indicar um aumento na taxa de correção de erro, isto é indicativo de problemas, e ações podem ser realizadas antes mesmo de os usuários que trafegam pelo sistema denotarem qualquer problema.

A informação do nível de atuação do FEC pode ser e está sendo usada com outra finalidade: a de prover dados para bilhetagem ou faturamento. Recentemente, algumas empresas anunciaram produtos denominados turbo FEC ou super FEC, que vem a ser a substituição do código RS, de correção de erro, por outros mais aperfeiçoados, que praticamente duplicam a *performance*. Entretanto, ainda não existe padronização, nem produtos com conceitos comerciais disponíveis.

Independentemente do tipo de FEC utilizado nos equipamentos das redes óticas metro, esse aperfeiçoamento técnico deverá, sempre que possível, ser exigido.

### 8.3 A tecnologia do FSO (*free space optics*)

#### 8.3.1 História

A tecnologia FSO (ótica de espaço livre), também chamada de FSP (fotônica de espaço livre), se refere à transmissão de feixes modulados visíveis ou IR (infravermelhos) através da atmosfera para obter comunicações de banda larga. Mais frequentemente, os feixes de *laser* são usados, embora fontes não *laser*, como diodos emissores de luz ou de rádio, servem para o propósito.

A teoria do FSO é essencialmente a mesma que a transmissão de fibra ótica. A diferença é que o feixe luminoso é alinhado e enviado através do ar ou espaço livre da fonte origem até o destino final, em vez de guiado através de uma fibra ótica. Se a fonte de energia não produzir um feixe suficientemente paralelo para percorrer a distância necessária, o alinhamento pode ser feito com lentes. Na fonte, a energia visível ou IR é modulada com os dados a serem transmitidos. No destino, o feixe é interceptado por um fotodetector, os dados são extraídos do feixe visível ou IR (demodulado) e o sinal resultante é amplificado e enviado ao *hardware* do destinatário.

Os sistemas FSO podem funcionar em distâncias de vários quilômetros. Enquanto houver uma visada, conhecida por linha de visão clara entre a fonte e o destino, a comunicação é teoricamente possível. Mesmo que não haja linha de visão direta, espelhos estrategicamente posicionados podem ser usados para refletir a energia. Os feixes podem passar através de janelas de vidro com pouca ou nenhuma atenuação (enquanto as janelas forem mantidas limpas!).

Embora os sistemas FSO possam ser uma boa solução para algumas necessidades de rede de banda larga, existem limitações. O mais significativo é o fato de que chuva, poeira, neve, névoa ou poluição atmosférica podem bloquear o caminho da transmissão e desligar a rede.

A tecnologia FSO (*free space optics*) é ideal para organizações que desejam segurança e velocidade máximas de sinal/dados.

### 8.3.2 A tecnologia no centro da ótica sem fio

Imagine uma tecnologia que ofereça uma largura de banda gigabit ethernet *full-duplex*. Uma tecnologia que pode ser instalada sem licença em todo o mundo em menos de um dia e que oferece um retorno de investimento rápido e alto.

Essa abordagem de tecnologia de linha de visada usa feixes invisíveis de luz para fornecer conexões de largura de banda ótica e é capaz de enviar até 1,25 Gbps de comunicação de dados, voz e vídeo simultaneamente através do ar, permitindo a conectividade de fibra ótica sem necessidade de cabo físico, realizando comunicação ótica à velocidade da luz. Essa conectividade ótica não exige um cabo de fibra ótica caro ou licenças de espectro de segurança para soluções de RF (radiofrequência).

A tecnologia FSO requer luz. O uso da luz é um conceito simples semelhante às transmissões óticas usando cabos de fibra ótica; a única diferença é o meio. A luz viaja pelo ar mais rápido do que pelo vidro, por isso é justo classificar a tecnologia FSO como comunicação ótica à velocidade da luz.

### 8.3.3 O desenvolvimento

Desenvolvido pelos militares e pela Nasa, o FSO tem sido usado por mais de quatro décadas em diversas formas para fornecer *links* de comunicação rápidos em locais remotos. Os primeiros protótipos de sistemas FSO foram desenvolvidos na Alemanha no final da década de 1960, mesmo antes da chegada do cabo de fibra ótica. Enquanto as comunicações de fibra ótica ganharam aceitação mundial no setor de telecomunicações, as comunicações do FSO ainda são consideradas relativamente novas. A tecnologia FSO permite recursos de transmissão de largura de banda que são semelhantes às fibras óticas, usando transmissores e receptores óticos semelhantes e, até mesmo, permitindo que as tecnologias WDM funcionem através do espaço livre.

### 8.3.4 Como funciona

A tecnologia FSO é surpreendentemente simples. Fundamenta-se na conectividade entre unidades sem fio óticas baseadas em FSO, cada uma constituída por um transceptor ótico com um transmissor e um receptor para fornecer capacidade bidirecional. Cada unidade ótica sem fio usa uma fonte ótica,

além de uma lente ou telescópio que transmite luz através da atmosfera para outra lente que recebe a informação. Nesse ponto, a lente receptora ou o telescópio se conecta a um receptor de alta sensibilidade através de fibra ótica.

Essa abordagem de tecnologia FSO tem uma série de vantagens:

- Não requer nenhum licenciamento de espectro de RF.
- É facilmente atualizável e suas interfaces abertas suportam equipamentos de vários fornecedores, o que ajuda as empresas e os prestadores de serviços a proteger seu investimento em infraestruturas de telecomunicações incorporadas.
- Não requer atualizações de *software* de segurança.
- É imune à interferência ou à saturação de radiofrequência.
- Pode ser implantado por trás de janelas, eliminando a necessidade de direitos de aluguéis altamente onerosos no telhado de edifícios.

### 8.3.5 FSO: sem fio ou radiofrequência sem fio?

O FSO incorpora duas características da atualidade: velocidade da fibra e flexibilidade da rede sem fio.

O *wireless* ótico, baseado na tecnologia FSO, é uma categoria de produtos sem fio ao ar livre que fornece a velocidade da fibra com a flexibilidade da tecnologia sem fio. Permite transmissão ótica a velocidades de até 1,25 Gbps e, no futuro, será capaz de velocidades de 10 Gbps usando WDM, o que não é possível com qualquer tecnologia fixa de RF ou sem fio. O *wireless* ótico também elimina a necessidade de comprar frequências do espectro que são custosas no caso do Brasil e não requer aprovação de licenciamento da FCC ou municipal em qualquer localidade, o que distingue das tecnologias sem fio fixas. Além disso, a transmissão de feixe estreito da tecnologia FSO é tipicamente de dois metros *versus* 20 metros para tecnologias baseadas em rádio tradicionais e ainda mais novas, como o rádio de onda milimétrica. As semelhanças dos produtos sem fio ótico com as soluções óticas com fio convencionais permitem a integração perfeita de redes de acesso com redes de núcleo ótico e ajudam a realizar a visão de uma rede totalmente ótica.

Todos os distúrbios potenciais podem ser abordados através do projeto e do planejamento de rede completo e apropriado. Entre os problemas a serem considerados na implantação de sistemas sem fio óticos baseados em FSO, mencionamos:

- Nevoeiro: o principal desafio para as comunicações baseadas em FSO é o nevoeiro denso. Chuva e neve têm pouco efeito sobre a tecnologia FSO, mas a neblina é diferente. A névoa é vapor composto de gotículas de água de apenas algumas centenas de microns de diâmetro, mas podem modificar as características da luz ou dificultar completamente a passagem dela através de uma combinação de absorção, espalhamento e reflexão. A resposta primária para contrariar o nevoeiro ao implantar

produtos sem fio ótico baseados em FSO é através de um projeto de rede que reduz as distâncias do *link* do FSO e adiciona redundâncias de rede. As instalações do FSO em cidades extremamente nebulosas alcançaram com sucesso a confiabilidade das operadoras de serviços de meio físico.

- **Absorção:** a absorção ocorre quando as moléculas de água suspensas na atmosfera terrestre extinguem os fótons. Isso causa uma diminuição da densidade de potência (atenuação) do feixe FSO e afeta diretamente a disponibilidade de um sistema. A absorção ocorre mais facilmente em alguns comprimentos de onda do que outros. No entanto, o uso de energia apropriada, com base nas condições atmosféricas, e da diversidade espacial (feixes múltiplos dentro de uma unidade baseada em FSO) ajudam a manter o nível requerido de disponibilidade de rede.
- **Dispersão:** a dispersão é causada quando o comprimento de onda colide com o dispersor. O tamanho físico do dispersor determina o tipo de dispersão. Quando o dispersor é menor do que o comprimento de onda, isso é conhecido como dispersão de Rayleigh. Quando o dispersor é de tamanho comparável ao comprimento de onda, isso é conhecido como dispersão seletiva. Quando o dispersor é muito maior do que o comprimento de onda, isso é conhecido como dispersão não seletiva. Na dispersão, ao contrário da absorção, não há perda de energia, apenas uma redistribuição direcional de energia que pode ter uma redução significativa na intensidade do feixe para longas distâncias.
- **Obstruções físicas:** aves voadoras ou guindastes de construção podem bloquear temporariamente um sistema FSO de feixe único, mas isso costuma causar apenas interrupções curtas, e as transmissões são facilmente e automaticamente retomadas.
- **Influências nas construções/atividade sísmica:** o movimento dos edifícios pode prejudicar o alinhamento do receptor e do transmissor. As ofertas óticas baseadas no FSO utilizam um feixe divergente para manter a conectividade. Quando combinados com o rastreamento, vários sistemas baseados em FSO de feixe oferecem um desempenho ainda maior e simplicidade de instalação aprimorada.
- **Cintilação:** o ar aquecido que se levanta da terra e os dispositivos artificiais, como condutas de aquecimento, criam variações de temperatura entre os diferentes bolsos de ar. Isso pode causar flutuações na amplitude do sinal, o que leva à "dança da imagem" no final do receptor baseado em FSO. O sistema multifeixe foi projetado para resolver os efeitos dessa cintilação. Chamada de "turbulência refrativa", causa dois efeitos primários em feixes óticos.
- **Difusão de feixe:** espalhamento de feixe longo prazo e curto prazo é a propagação de um feixe ótico à medida que se propaga através da atmosfera.
- **Segurança:** para aqueles que não estão familiarizados com a tecnologia FSO, a segurança pode ser uma preocupação porque a tecnologia usa o *laser* para transmissão. O uso adequado e a segurança dos *lasers* foram discutidos desde que os dispositivos FSO apareceram em laboratórios, há mais de três décadas. As duas principais preocupações envolvem a exposição dos olhos a feixes de luz e altas tensões dentro dos sistemas de luz e suas fontes de energia. Normas internacionais rigorosas foram definidas para segurança e desempenho.

### 8.3.6 Arquiteturas de FSO

As arquiteturas de rede FSO são normalmente três. A arquitetura ponto a ponto garante uma conexão dedicada, combinada com maior banda passante, sendo, no entanto, menos escalável. A arquitetura em malha oferece redundância e maior confiabilidade, associada à facilidade de adição de novos nós à rede, mas requer distâncias menores entre nós. A arquitetura ponto a multiponto oferece a vantagem de menor custo e a facilidade de adição de nós, mas com menor banda passante que a solução ponto a ponto.

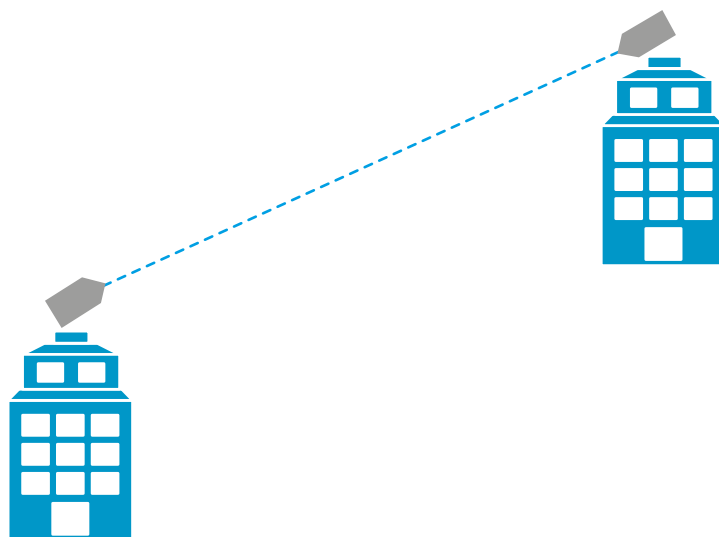


Figura 78 – Topologia FSO ponto a ponto

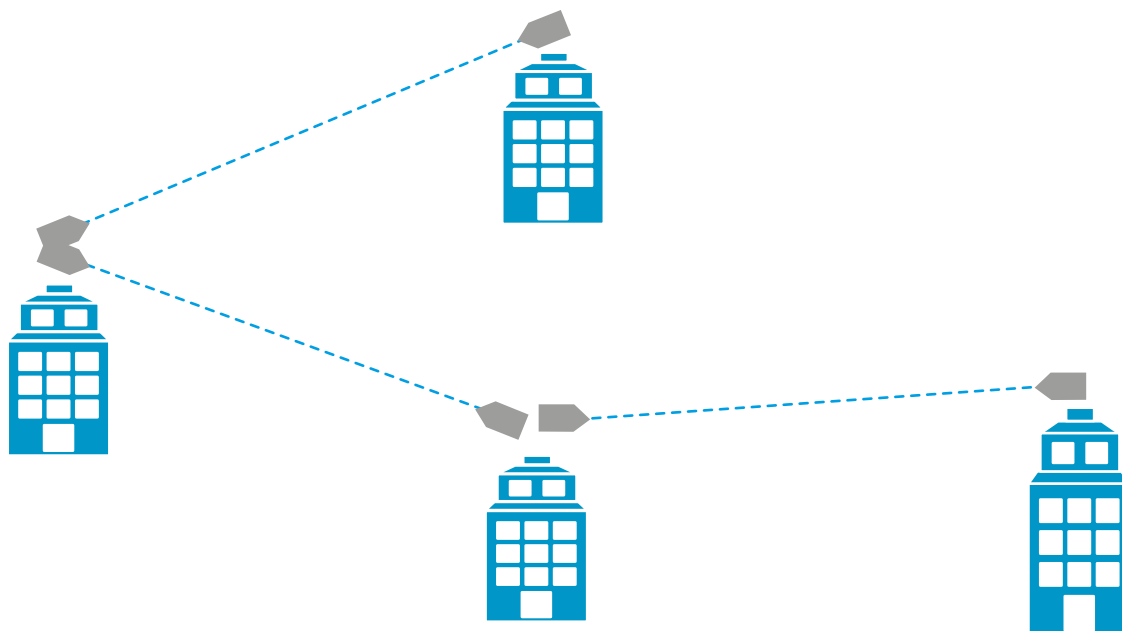


Figura 79 – Topologia FSO malha parcial

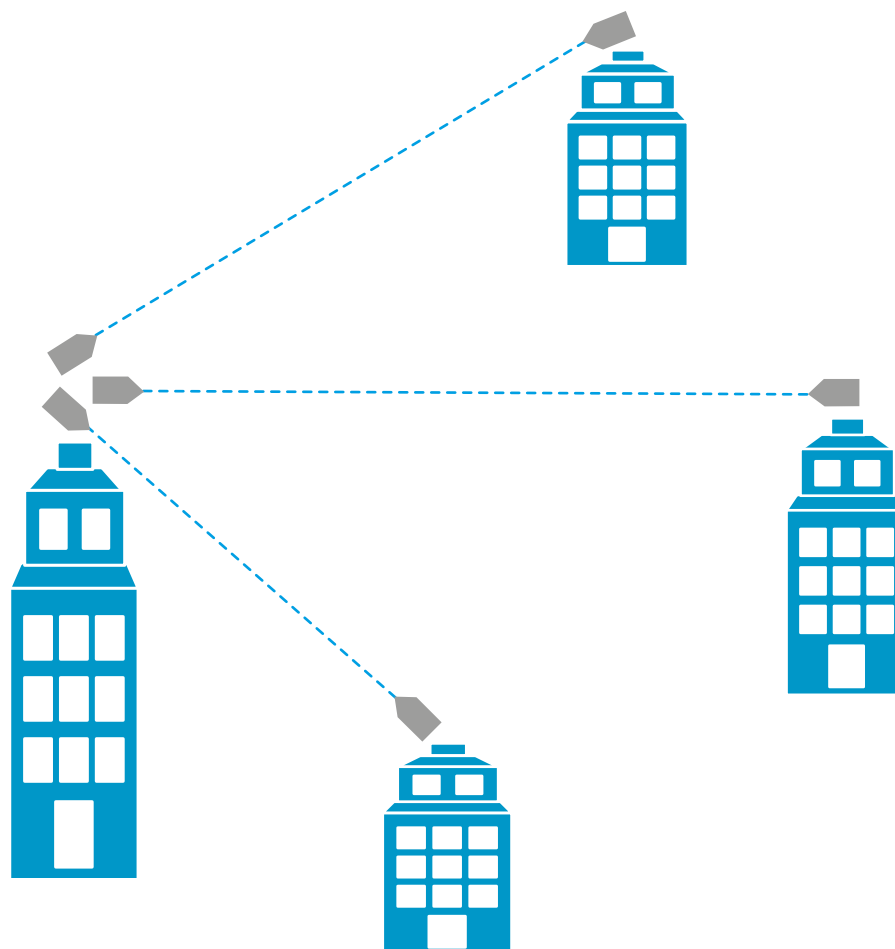


Figura 80 – Topologia FSO ponto a multiponto



### Resumo

Vimos nesta unidade que as redes MPLS fizeram pela tecnologia o que as redes ATM não conseguiram: trouxeram a camada rede para dentro das empresas, suplantando uma das principais dificuldades de aculturação trazido com as redes ATM. As redes MPLS conseguem aliar alta disponibilidade e extrema flexibilidade, baseadas em protocolos de roteamento tradicionais, e ainda aplicam extraordinárias mecânicas de qualidade de serviço e controle de fluxo de dados em todas as classes de serviço.

Avaliamos também nesse capítulo as tecnologias de última geração para fibra ótica, conceituamos a história e o desenvolvimento da fibra ótica e fizemos referências aos comitês que regulamentam as capacidades de transmissão das fibras óticas por todo o planeta.

As tecnologias DWDM estão em franco desenvolvimento para trazer nos dias de hoje velocidades da ordem de 80 Gb/s. Sabemos que isso não é o limite, pois entendemos que existe um comitê de forte expressão que está trabalhando para a melhoria desse serviço.

Finalizamos o capítulo com a abordagem de uma tecnologia inusitada, o FSO. Ela faz uso dos mais preciosos conhecimentos da fibra ótica empregados na transmissão de dados usando raio *laser*, o que proporciona capacidade de implementação extremamente ágil em ambientes de alta densidade demográfica em um curto espaço de tempo.



### Exercícios

**Questão 1.** (IF-SP, 2011) Identifique a tecnologia de rede pública que utiliza para os circuitos virtuais a comutação de *tags*:

- A) MPLS.
- B) ATM.
- C) *Frame relay*.
- D) Gb ethernet.
- E) ADSL.

Resposta correta: alternativa A.

#### Análise das alternativas

A) Alternativa correta.

Justificativa: o MPLS (*multi protocol label switching*) é um mecanismo de transporte de dados pertencente à família das redes de comutação de pacotes em circuitos virtuais.

B) Alternativa incorreta.

Justificativa: a ATM (*asynchronous transfer mode*) é uma arquitetura de rede de alta velocidade orientada à conexão e baseada na comutação de células de dados. O Modelo OSI opera no nível 2 – camada de enlace.



C) Alternativa incorreta.

Justificativa: o *frame relay* é uma eficiente tecnologia de comunicação de dados usada para transmitir de maneira rápida e barata a informação digital através de uma rede de dados, dividindo essas informações em *frames* (quadros) a um ou a muitos destinos de um ou muitos *end-points*.

D) Alternativa incorreta.

Justificativa: Gb ethernet é a abreviação de gigabit ethernet. Isso não tem relação com comutação, é um padrão de porta ethernet relacionado à velocidade.

E) Alternativa incorreta.

Justificativa: o ADSL (*asymmetric digital subscriber line*) é um formato de DSL, tecnologia de comunicação de dados que permite uma transmissão de dados mais rápida através de linhas de telefone do que um *modem* convencional pode oferecer (conhecida como banda larga ADSL).

**Questão 2.** (FCC, 2007) Sobre os componentes de uma rede MPLS, é correto afirmar:

A) O FEC (*forwarding equivalency class*) caracteriza um grupo de pacotes de nível 3 que são tratados da mesma maneira: todos os pacotes seguem o mesmo caminho e têm a mesma prioridade.

B) Os rótulos (*labels*) MPLS estão sempre localizados na mesma posição do pacote, independentemente da tecnologia utilizada para o transporte dos dados, ou seja, se a tecnologia contempla um campo para rótulo, o rótulo MPLS é encapsulado no cabeçalho nativo do protocolo.

C) Um LSR (*label switched router*) é um nó MPLS que tem a capacidade de encaminhar pacotes com o nível 2 nativo, sendo um dos tipos do LSR. O nó LSR de encapsulamento tem a função de encapsular uma rede MPLS em um nó que não implementa essa funcionalidade.

D) O NHLFE (*next hop forwarding entry*) é utilizado pelo nó MPLS para encaminhar pacotes, desde que exista um único NHLFE para cada FEC que flui através do nó.

E) O LSR vincula um rótulo a um FEC somente se for o nó de saída para o FEC na rede MPLS ou se ainda não recebeu uma vinculação para aquele FEC do próximo nó.

**Resolução desta questão na plataforma.**

## FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

### Figura 39

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, J. D. *Redes de computadores*. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2011. Adaptada.

## REFERÊNCIAS

### Textuais

ENTENDENDO e configurando a autenticação de PPP Chap. Cisco, set. 2014. Disponível em: <[https://www.cisco.com/c/pt\\_br/support/docs/wan/point-to-point-protocol-ppp/25647-understanding-ppp-chap.html](https://www.cisco.com/c/pt_br/support/docs/wan/point-to-point-protocol-ppp/25647-understanding-ppp-chap.html)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

OSBORNE, E.; SIMHA, A. *Engenharia de tráfego com MPLS*. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

STALLINGS, W. *ISDN and broadband ISDN*. 2. ed. Indianapolis: Macmillan Publishing Co., 1992.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, J. D. *Redes de computadores*. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

### Site

<<https://www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx>>.

### Exercícios

Unidade I – Questão 1: AOCPCONCURSOS PÚBLICOS (AOCPC). *Tribunal de Contas do Estado do Pará 2012*: Assessor Técnico de Informática – Analista de Segurança. Questão 72. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/28819/aocp-2012-tce-pa-assessor-tecnico-de-informatica-analista-de-seguranca-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/28819/aocp-2012-tce-pa-assessor-tecnico-de-informatica-analista-de-seguranca-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade I – Questão 2: FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS (FCC). *Tribunal de Justiça do Estado de Sergipe 2009*: Concurso Público para provimento de cargos de Analista Judiciário. Questão 58. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/371/fcc-2009-tj-se-analista-judiciario-tecnologia-da-informacao-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/371/fcc-2009-tj-se-analista-judiciario-tecnologia-da-informacao-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade II – Questão 1: INSTITUTO QUADRIX DE RESPONSABILIDADE SOCIAL (QUADRIX). *Serviço Federal de Processamento de Dados (Serpro) 2014*: Técnico – Operações de Redes. Questão 36. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/39081/quadrix-2014-serpro-tecnico-operacoes-de-redes-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/39081/quadrix-2014-serpro-tecnico-operacoes-de-redes-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade II – Questão 2: FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS (FCC). *Tribunal Regional Eleitoral de Pernambuco 2011*: Concurso Público para provimento de cargos de Analista Judiciário. Questão

43. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/25128/fcc-2011-tre-pe-analista-judiciario-analise-de-sistemas-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/25128/fcc-2011-tre-pe-analista-judiciario-analise-de-sistemas-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade III – Questão 1: ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO FAZENDÁRIA (ESAF). *Controladoria-Geral de União 2006*: Analista de Finanças e Controle. Questão 42. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/96/esaf-2006-cgu-analista-de-financas-e-controle-tecnologia-da-informacao-prova-3-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/96/esaf-2006-cgu-analista-de-financas-e-controle-tecnologia-da-informacao-prova-3-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade III – Questão 2: FUNDAÇÃO CEFET MINAS (FCM). *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste – MG) 2016*: Técnico – Tecnologia da Informação. Questão 37. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/49181/fcm-2016-if-sudeste-mg-tecnico-de-tecnologia-da-informacao-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/49181/fcm-2016-if-sudeste-mg-tecnico-de-tecnologia-da-informacao-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade IV – Questão 1: ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO FAZENDÁRIA (ESAF). *Agência Nacional de Águas (ANA) 2009*: Analista Administrativo. Questão 23. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/850/esaf-2009-ana-analista-administrativo-tecnologia-da-informacao-redes-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/850/esaf-2009-ana-analista-administrativo-tecnologia-da-informacao-redes-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade IV – Questão 2: FUNDAÇÃO PROFESSOR CARLOS AUGUSTO BITTENCOURT (FUNCAB). *Processamento de Dados Amazonas S/A 2010*: Analista de TI. Questão 45. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/9624/funcab-2010-prodam-am-analista-de-ti-analista-de-telecomunicacoes-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/9624/funcab-2010-prodam-am-analista-de-ti-analista-de-telecomunicacoes-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade V – Questão 1: FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS (FCC). *Tribunal Regional do Trabalho da 15ª Região 2013*: Analista Judiciário. Questão 36. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/files-s3.iesde.com.br/resolucaoq/prova/prova/32516.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade V – Questão 2: INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES DO EXTREMO SUL (IESES). *Tribunal Regional Eleitoral do Maranhão (TRE-MA) 2015*: Técnico Judiciário. Questão 65. Disponível em: <[https://documents.qconcursos.com/prova/arquivo\\_prova/44209/ieses-2015-tre-ma-tecnico-judiciario-operacao-de-computadores-prova.pdf?\\_ga=2.111627585.458056235.1515498502-410994702.1515498502](https://documents.qconcursos.com/prova/arquivo_prova/44209/ieses-2015-tre-ma-tecnico-judiciario-operacao-de-computadores-prova.pdf?_ga=2.111627585.458056235.1515498502-410994702.1515498502)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade VI – Questão 1: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (IF-SP). *IF-SP – 2011 – Básico, Técnico e Tecnológico 2011*: Professor. Questão 39. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/files-s3.iesde.com.br/resolucaoq/prova/prova/31765.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade VI – Questão 2: PR-4 CONCURSOS UFRJ (PR-4 UFRJ). *Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) 2012*: Engenheiro de Telecomunicações. Questão 41. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/33561/pr-4-ufrj-2012-ufrj-engenheiro-de-telecomunicacoes-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/33561/pr-4-ufrj-2012-ufrj-engenheiro-de-telecomunicacoes-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade VII – Questão 1: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (IF-SP). *IF-SP – 2011 – Básico, Técnico e Tecnológico 2011*: Professor. Questão 13. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/files-s3.iesde.com.br/resolucaoq/prova/prova/31765.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade VII – Questão 2: ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO FAZENDÁRIA (ESAF). *Agência Nacional de Águas (ANA) 2009: Analista Administrativo*. Questão 27. Disponível em: <[https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo\\_prova/850/esaf-2009-ana-analista-administrativo-tecnologia-da-informacao-redes-prova.pdf](https://www.qconcursos.com/arquivos/prova/arquivo_prova/850/esaf-2009-ana-analista-administrativo-tecnologia-da-informacao-redes-prova.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade VIII – Questão 1: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (IF-SP). *IF-SP – 2011 – Básico, Técnico e Tecnológico 2011*: Professor. Questão 14. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/files-s3.iesde.com.br/resolucaoq/prova/prova/31765.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Unidade VIII – Questão 2: FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS (FCC). *Ministério Público da União* 2007: Analista de Informática – Suporte Técnico. Questão 49. Disponível em: <[https://documents.qconcursos.com/prova/arquivo\\_prova/700/fcc-2007-mpu-analista-de-informatica-suporte-tecnico-prova.pdf?\\_ga=2.83845459.458056235.1515498502-410994702.1515498502](https://documents.qconcursos.com/prova/arquivo_prova/700/fcc-2007-mpu-analista-de-informatica-suporte-tecnico-prova.pdf?_ga=2.83845459.458056235.1515498502-410994702.1515498502)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



Lined writing area with horizontal lines.



Handwriting practice lines consisting of 30 horizontal rows. Each row is defined by two thin blue lines, with a slightly larger margin at the top for the first few rows.



Lined writing area with horizontal ruling lines.







# Interativa

Informações:  
[www.sepi.unip.br](http://www.sepi.unip.br) ou 0800 010 9000