

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS, GERÊNCIA E  
SEGURANÇA DE REDES DE COMPUTADORES

TÚLIO TERRA RAMOS

**Encapsulando Frames Ethernet em  
Conexões MPLS**

Trabalho de Conclusão apresentado como  
requisito parcial para a obtenção do grau de  
Especialista

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin  
Orientador

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin  
Prof. Dr. Luciano Paschoal Gaspary  
Coordenadores do Curso

Porto Alegre, dezembro de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenadores do Curso: Profs. Sérgio Luis Cechin e Luciano Paschoal Gaspary

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## **AGRADECIMENTOS**

*Dedico este trabalho a minha esposa Helena e que em conjunto com os filhos Marco Túlio e Mário são minha inspiração e hoje o significado da minha existência.*

*Agradeço ao meu orientador, Professor Sérgio Cechin, pela motivação e pelo estímulo, a quem devo o êxito deste trabalho.*

*Agradeço também a Deus por sua luz em todos os momentos da vida, por ter proporcionado mais este degrau nesta jornada.*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Motivação .....	11
1.2 Estrutura do Trabalho .....	11
<b>2 TECNOLOGIAS ENVOVIDAS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 O protocolo Ethernet.....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Definição .....	12
2.1.2 Histórico .....	12
2.1.3 Codificação Manchester .....	16
<b>2.2 MPLS .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Definição .....	17
2.2.2 Histórico .....	17
2.2.3 Componentes de uma rede MPLS .....	19

<b>3</b>	<b>ENCAPSULANDO ETHERNET EM REDES MPLS (EOMPLS)</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Definição</b> .....	<b>22</b>
3.1.1	Funcionamento: .....	23
3.1.2	EoMPLS Label Stack .....	23
3.1.3	O formato do pacote .....	24
3.1.4	Requerimento de tamanho MTU .....	24
<b>3.2</b>	<b>Suporte a Qualidade de Serviços (QoS)</b> .....	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Restrições e Limitações</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>28</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CE	Cliente Edge
CRS	Cell Switching Router
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection)
LSP	Label Switch Path
DEC	Digital Equipment Co
DIX	Dec, Intel e Xerox
EOMPLS	Etherne Over MPLS
EXP	Experimental
FCS	Frame Check Sequence
FIB	Forwarding Information Base
FEC	Forward Error Correction
FR	Freme Relay
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
LAN	Local Área Network
LBS	Label Based Switching
LDP	Label Distribution Protocol
LER	Label Edge Router
LSE	Label Stack Entry
LSR	Label Switch Router
MAC	Media Access Control
MAU	Medium Atachment Unit
LIB	Label Information Base
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MTU	Maximum Transfer Unit
PC	Personal Computer
PE	Provider Edge
PPP	Point To Point Protocol
PSN	Packet-Switched Network
QOS	Quality Of Service
RFC	Request For Comments

SDH	Hierarquia Digital Síncrona
SFD	Start of Frame Delimiter
SONET	Synchronous Optical Network
TCP	Transport Control Protocol
TTL	Time To Live
UTP	Unshielded Twisted Pair
VC	Virtual Circuit

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Desenho de Robert Metcalf, Xerox, 1973.....	13
Figura 2.2: Especificação Ethernet (a) e 802.3 (b).....	13
Figura 2.3: O CSMA/CD pode estar em um destes três estados: disputa, transmissão ou inatividade .....	17
Figura 2.4: Um segmento TCP, MPLS e IP .....	18
Figura 2.5: O cabeçalho MPLS – Shim Header .....	19
Figura 2.6: Arquitetura MPLS.....	21
Figura 3.2: Formato do Pacote .....	24
Figura 3.3: Cabeçalho EoMPLS.....	24
Figura 3.4: Exemplo de Frame EoMPLS .....	26



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1: Cronologia Ethernet.....	14
Tabela 2.2: Principais Especificações da Tecnologia Ethernet e Similares .....	15
Tabela 3.1: Sumário da camada 2 e Componentes MPLS .....	25

## RESUMO

O presente trabalho aborda o encapsulamento de dados do protocolo ethernet utilizando técnicas de tunelamento MPLS. Nele buscou-se demonstrar que a combinação destas tecnologias, através de sua simplicidade e até pela popularidade, proporcionam um modo confiável, eficiente e fácil de operar, no transporte de dados desde sua origem até o destino.

Este novo mecanismo denominado Ethernet over MPLS (EoMPLS), que ainda se encontra embrionário no mundo das redes, talvez pela adaptação/adequação da infraestrutura dos provedores ou mesmo por uma resistência frente aos tradicionais e complexos ATM (Assynchronous Transfer Mode) e Frame Relay, não menos confiáveis ou robustos.

Nos capítulos que seguem, são levantadas as tecnologias envolvidas, seus métodos, seus históricos, problemas, limitações e respectivos modelos de transporte de dados, indicando que o potencial oriundo da convergência destas tecnologias tende a ser benéfico para este crescente cenário das redes de telecomunicações.

**Palavras-Chave:** EoMpls, Encapsulamento, Transporte de Dados, Convergência

# **Ethernet Frames Encapsulated Over MPLS Connections**

## **ABSTRACT**

The present work broaches the data encapsulation of the Ethernet protocol using tunneling techniques MPLS. In this work it was tried to show that the combination of these technologies, through its simplicity and even by its popularity, provide a trustworthy, efficient and easy operating form, in the transport of data from its origin to its destiny.

This new mechanism denominated Ethernet over MPLS (EoMPLS), which is still embryonic in the net world, maybe because of the adaptation/ adequateness of the infra-structure of the suppliers or even by a resistance facing the traditional and complex ATM (Asynchronous Transfer Mode) and Frame Relay, not less trustworthy or robust.

In the chapters that follow, the involved technologies, their methods, their description, problems, limitations and respective data transport models are raised, indicating that the potential originated from the convergence of these technologies tends to be beneficial for this growing scenery of the telecommunication nets.

**Keywords:** EoMpls, Tunneling, Data Transport, Convergence



# 1 INTRODUÇÃO

As prestadoras de serviços de longa distância que provem a interconexão de redes locais Ethernet têm sido desafiadas a colocar em prática um modo de interligação de múltiplas instalações dispersas de uma mesma entidade ou organização, fazendo com que pareçam estar ligadas a uma única e vasta rede ethernet privadas virtual de nível dois (endereços MAC).

Uma limitação destas operadoras atualmente, manifesta-se na utilização conjunta do protocolo Ethernet, com seu modo de funcionamento sem conexão e baseado na auto-aprendizagem dos endereços MAC, com as infra-estruturas dos provedores, suas exigências de resiliência e de auto-recuperação em casos de rupturas.

O presente trabalho visa abordar a integração de dois recursos com larga utilização no atual cenário tecnológico: o protocolo MPLS, que já é bastante popular no mundo IP para provedores de integração de dados. Completando esta solução a Ethernet, permitindo agregar qualidade e níveis de QoS de um extremo ao outro de uma conexão.

## 1.1 Motivação

Diante das questões citadas anteriormente, procura-se mostrar uma alternativa para as soluções ainda hoje consagradas nas redes de telecomunicações das operadoras como o FR (Frame-Relay), uma evolução do tradicional X.25, e o ATM (Assynchronous Transfer Mode). Foi objetivada ainda a abordagem de uma tecnologia que abranja o aumento da qualidade e controle dos serviços (largura de banda Ethernet garantida para o transporte da voz e de vídeo, entre outros) que trafegam cada vez mais entre nossas redes, permitindo uma maior disponibilidade, tempo de trânsito, redução de custos, assim como uma melhor gestão das comunicações como um todo.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma:

O capítulo 2 descreve as tecnologias envolvidas: os protocolos Ethernet e MPLS assim como seus históricos, suas estruturas e serviços vinculados.

O capítulo 3 descreve métodos de transporte de ethernet sobre redes MPLS, a orientação do IETF através da RFC 4488.

O capítulo 4 apresenta conclusões mediante o estudo realizado assim como sugestões de trabalhos futuros.

## 2 TECNOLOGIAS ENVOVIDAS

### 2.1 O protocolo Ethernet

#### 2.1.1 Definição

A ethernet atualmente é a arquitetura com maior presença em redes locais (LAN). As redes ethernet se utilizam geralmente de cabos de par trançado (UTP), fibra ótica ou *wireless*, embora possam utilizar outros meios, como cabos coaxiais, ou linhas telefônicas para conectar computadores. Estes computadores competem com os restantes no acesso à rede, regras determinam qual deles pode transmitir informação num determinado momento. A informação pode ser transmitida tanto em modo broadcast para todos os computadores da rede, como também para apenas um destinatário.

#### 2.1.2 Histórico

Segundo Tanenbaum, o protocolo ethernet tem uma história interessante. O início verdadeiro foi o sistema ALOHA construído na forma de permitir a comunicação entre máquinas dispersas pelas Ilhas Havaianas. Mais tarde foi acrescentada a detecção de portadora e a Xerox criou um sistema CSMA/CD de 2,94 Mbps a ser conectado a 100 estações de trabalho pessoais em um cabo de 1 km (Metcalfe e Boggs, 1976). Este sistema foi chamado de Ethernet, como referência ao *éter luminífero* através do qual se pensou, em determinada época, que a radiação eletromagnética se propagava. (Quando o físico britânico do século XIX James Clerk Maxwell descobriu que a radiação eletromagnética poderia ser descrita como uma equação de onda, os cientistas presumiram que o espaço deveria ser preenchido com algum meio etéreo no qual a radiação se propagava. Somente depois da famosa experiência de Michelson-Morley, em 1887, os físicos descobriram que a radiação eletromagnética poderia se propagar no vácuo.)

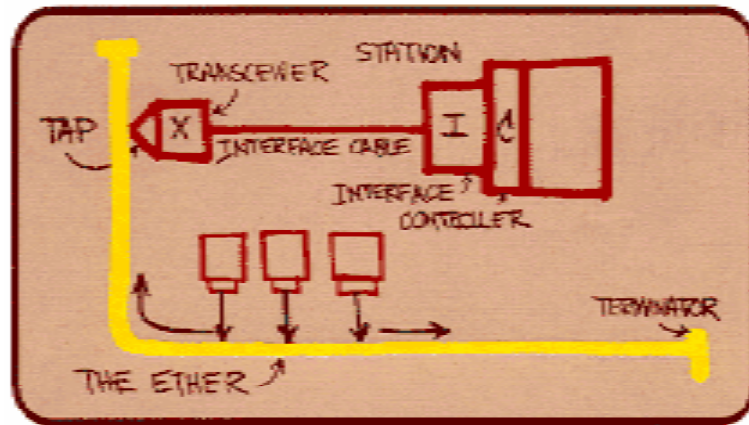


Figura 2.1: Desenho de Robert Metcalf, Xerox, 1973

A Ethernet da Xerox foi tão bem-sucedida que a Xerox, a DEC e a Intel criaram um padrão para um sistema Ethernet de 10 Mbps. Esse padrão formou a base do 802.3. O padrão 802.3 difere da especificação Ethernet por descrever uma família inteira de sistemas CSMA/CD 1-persistente, que funcionavam em velocidades entre 1 a 10 Mbps em diversos meios. Além disso, o cabeçalho de um campo também é outra diferença entre eles (o campo de comprimento 802.3 é usado para tipo de pacote em Ethernet). O padrão inicial também fornece os parâmetros para um sistema de banda básica de 10 Mbps que utiliza cabos coaxiais de 50 ohms. Os conjuntos de parâmetros para outros meios e velocidades vieram depois. Muitas pessoas (incorretamente) usam o nome “Ethernet” em um sentido genérico para se referir a todos os protocolos CSMA/CD, embora ele se refira a um produto específico que implementa o 802.3.

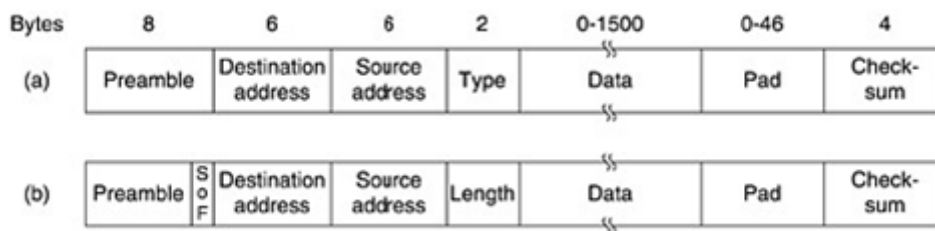


Figura 2.2: Especificação Ethernet (a) e 802.3 (b)

Tabela 2.1: Cronologia Ethernet

1976	Com a tecnologia suficientemente desenvolvida e objetivando comercializá-la a Xerox renomeou a tecnologia para Xerox Wire. O sistema CSMA/CD funcionava a 2,94 Mbps em um cabo coaxial grosso de 1 km.
1977	Metcalfe e sua equipe receberam a patente da tecnologia “Multipoint Data Communication System e Collision Detection”, logo conhecida como “Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection”, ou CSMA/CD. A rede Ethernet surgia oficialmente.
1979	Tentando tornar a tecnologia um padrão da Indústria, a Xerox se associou à Digital Equipment Co (DEC) e à Intel, para o seu desenvolvimento. Suas novas aliadas então forçaram a nova troca de nome, de Xerox Wire para Ethernet. Nesta época a Ethernet era somente uma das diversas tecnologias emergentes, como a MCA, a Hyperchannel, a Arcnet e a Omnet. Nesta aliança, a Xerox fornecia a tecnologia, a DEC trabalharia nos projetos de engenharia e se tornaria um fornecedor do hardware, e a Intel produziria os componentes de silício (chips).
1980	As três empresas aliadas produziram o “Ethernet Blue Box”, ou DIX, especificando formalmente o Ethernet 1.0, a 2,94 Mbps.
1981	Foi formado o subcomitê IEEE 802.3, para produzir um padrão internacionalmente aceito baseado no trabalho que criara o DIX.
1982	As dezenove empresas participantes do subcomitê anunciaram uma proposta, ainda em “draft”, para o padrão 10Base-5 (10 Mbps, banda base, para cabo coaxial grosso permitindo distâncias de até 500 metros).  Nesta época, uma empresa criada em 1979 por Bob Metcalfe e três sócios, Howard Charney, Ron Crane, Greg Shaw e Bill Kraus), a Computer, Communication and Compatibility Corporation (mais conhecida como 3Com), desenvolveu e lançou a primeira interface Ethernet para IBM PC em barramento ISA, a EtherLink ISA Adapter. Esta placa foi revolucionária também por trazer embutido o Medium Attachment Unit (MAU) Transceiver, permitindo a utilização do cabo coaxial fino (Thin Ethernet). O responsável pelo projeto foi o engenheiro Ron Crane, que desenhou a placa. O Thin Ethernet tornou-se em 1984 um padrão do IEEE 802.3 conhecido como 10Base-2 (10 Mbps, banda base, para rede de até 200 metros). A opção da 3Com pelo IBM/PC popularizou não somente a empresa, mas também a rede Ethernet, face ao sucesso do IBM PC nos anos 80.
1983	A Intel, a AT&T e a NCR iniciaram por conta própria pesquisas para o desenvolvimento de uma tecnologia Ethernet que utilizasse cabos telefônicos em par trançado não blindado (UTP). A NCR propôs uma tecnologia em barramento similar ao 10Base-2, mas a AT&T propôs uma topologia física em estrela, parecida com as existentes nas estruturas de telefonia.
1984	14 companhias participaram do subcomitê IEEE 802.3 para o desenvolvimento do Ethernet em UTP. A dificuldade estava em prover 10 Mbps em um cabo UTP. Diversas companhias optaram pelo desenvolvimento de uma versão mais lenta do Ethernet para cabo UTP, a 1 Mbps, chamada 1Base-5.
1986	Foi aprovado o padrão 1Base-5. Neste ano, a Intel anunciou o processador 80386, um processador de 32 bits que tornaria os computadores muito mais rápidos. O principal argumento dos defensores do 1Base-5, de que os computadores existentes não suportavam 10 Mbps, caiu por terra, de modo que o 1Base-5 já nasceu obsoleto, e não “decolou”.
1987	Uma empresa com dois anos de existência fundada por ex-funcionários da Xerox, chamada SynOptics, lançou um hub que permitia trabalhar com cabos UTP a 10 Mbps, sendo o pioneiro nesta nova tecnologia. O subcomitê IEEE 802.3 tratou de se reunir para tentar chegar a um acordo para a padronização da nova tecnologia.
1990	Foi finalmente padronizada a norma IEEE 802.3i, conhecida como 10Base-T.

Fonte: BERREDO, 2000



Uma das razões da grande popularização do Ethernet deve ser creditado à Novell, empresa com sede em Provo, Utah, fundada no início dos anos 80. Neste período ela desenvolveu uma família de sistemas operacionais de rede que alavancaram a utilização dos computadores em rede. Por muito tempo os sistemas NetWare só funcionavam em redes Ethernet. Em 1989, a Novell vendeu sua divisão de fabricação de placas de rede e tornou pública a tecnologia de fabricação das mesmas, criando um padrão de fato da indústria que aumentou o número de fabricantes de placas, criou uma economia de escala e reduziu o preço final das mesmas: o padrão NE2000.

Tabela 2.2: Principais Especificações da Tecnologia Ethernet e Similares

Denominação	Nome	IEEE	(Mbps)	Ano	Meio
Thick Ethernet	10Base-5	802.3	10	1983	Coaxial 50Ω (grosso)
Thin Ethernet Cheapernet	10Base-2	802.3a	10	1988	Coaxial 50Ω (fino)
Broadband Ethernet	10Broad-36	802.3b	10	1985	Coaxial 75Ω
Fiber Optic Inter Repeater link	FOIRL	802.3d	10	1987	Fibra óptica multimodo
StarLAN	1Base-5	802.3e	1	1987	UTP Cat-3 2 pares 100Ω
Twisted Pair Ethernet	10Base-T	802.3i	10	1990	UTP Cat-3 2 pares 100Ω
Fiber Ethernet	10Base-FL 10Base-FB	802.3j	10	1993	Fibra óptica monomodo Fibra óptica multimodo
Cabos de 120Ω para 10Base-T		802.3t	10	1995	UTP Cat-3 2 pares 120Ω
Fast Ethernet	100Base-TX 100Base-T4 100Base-FX	802.3u	100	1995	Cat-5, 2 pares Cat-3, 4 pares Fibra óptica
Cabos de 150Ω para 10Base-T		802.3v	10	1995	UTP Cat-3 2 pares 120Ω
Full Duplex /Flow Control	FDX	802.3x	100	1997	
Fast Ethernet – Cat-3 2pares	100Base-T2	802.3y	100	1997	UTP Cat-3 2 pares 100Ω
Gigabit Ethernet	1000Base-SX 1000Base-LX 1000Base-CX	802.3z	1000	1998	FO multimodo FO mono/multimodo “Twinax” STP 150Ω
Gigabit Ethernet para UTP Cat-5	1000Base-T	802.3ab	1000	1999	UTP Cat-5 4 pares 100Ω
VLAN Trunking (MPLA)	VLAN Link Aggregation	802.3ad		1998	
VLAN Tagging	VLAN Tagging	802.1q		1998	
Traffic Expediting	Priority Switching	802.1p		1998	
Bridges MAC e Spanning Tree	Bridges MAC	802.1d		1998 (Rev)	
Iso-Ethernet	Iso-Ethernet2	802.9 <sup>a</sup>	16,66	1995	UTP
100VG-AnyLAN	100VG-AnyLAN	802.12	100	1994	UTP Cat-3 4 pares 100Ω

Fonte: BERREDO, 2000

### 2.1.3 Codificação Manchester

O Ethernet utiliza a codificação Manchester para a representação dos bits na transmissão.

Ele utiliza subidas e descidas no nível de tensão (-0,85V e +0,85V) para codificar o bit 0 e o bit 1. Quando a primeira metade do período está com tensão nível alto e a segunda em nível baixo, esse é o bit, quando a primeira metade está com nível baixo e a segunda em nível alto, esse é o bit 1.

O Manchester é codificado dessa maneira para que duas estações consigam sincronizar-se sem a necessidade de um clock externo. Já que sempre ocorre uma transição no meio do período é fácil verificar a frequência da transmissão. A desvantagem do método está na necessidade de duas vezes a banda necessária para a codificação binária. (TANENBAUM, 2002)

### 2.1.4 CSMA/CD

#### CSMA com detecção de colisões

Os protocolos CSMA persistentes e não persistentes são claramente um avanço em relação ao ALOHA, pois garantem que nenhuma estação começará a transmitir quando perceber que o canal está ocupado. Outro avanço consiste no fato de as estações cancelarem suas transmissões logo que detectam uma colisão. Em outras palavras, se duas estações perceberem que o canal está desocupado e começarem a transmitir simultaneamente, ambas detectarão a colisão quase de imediato. Em vez de terminar de transmitir seus quadros que de qualquer forma já estarão irremediavelmente adulterados, elas devem interromper a transmissão de forma abrupta tão logo a colisão for detectada. A interrupção rápida dos quadros com erros economiza tempo e largura de banda. Esse protocolo, conhecido como CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), é amplamente usado na sub-camada MAC de LANs. Em particular, ele é a base da conhecida LAN Ethernet; assim, vale a pena dedicarmos algum tempo a examiná-lo em detalhes. (TANENBAUM, 2002)

O CSMA/CD e vários outros protocolos de LANs utilizam o modelo conceitual apresentado na Figura 2.2. No ponto marcado com  $t_0$ , uma estação terminou a transmissão de um quadro. Qualquer outra estação que tenha um quadro a ser enviado pode transmiti-lo. Se duas ou mais estações decidirem transmitir simultaneamente, haverá uma colisão. As colisões podem ser detectadas verificando-se a potência e a largura do pulso do sinal recebido e comparando-o com o sinal transmitido.

Após detectar uma colisão, uma estação cancela sua transmissão, espera um intervalo de tempo aleatório e, em seguida, tenta novamente, supondo que nenhuma outra estação tenha começado a transmitir nesse ínterim. Dessa forma, o nosso modelo de CSMA/CD consistirá em períodos alternados de disputa e de transmissão, com a ocorrência de períodos de inatividade quando todas as estações estiverem em repouso (por exemplo, por falta de trabalho).

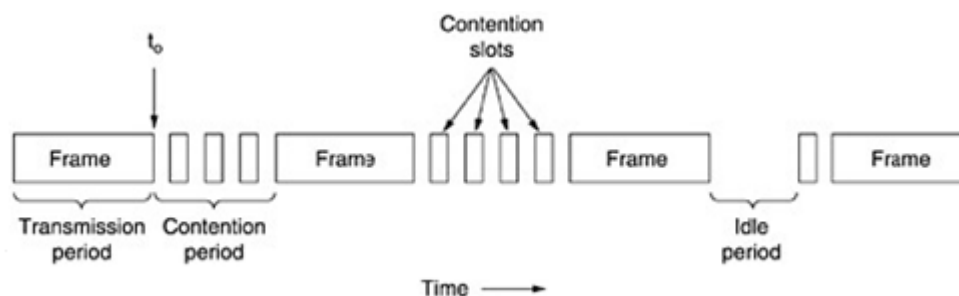


Figura 2.3: O CSMA/CD pode estar em um destes três estados: disputa, transmissão ou inatividade

## 2.2 MPLS

### 2.2.1 Definição

O MPLS (Multiprotocol Label Switching) é um protocolo de roteamento baseado em pacotes rotulados, onde cada rótulo representa um índice na tabela de roteamento do próximo roteador. Pacotes com o mesmo rótulo e mesma classe de serviço são indistinguíveis entre si e por isso recebem o mesmo tipo de tratamento. Por estes motivos o MPLS é uma tecnologia utilizada em backbones, considerada uma rede de trânsito, transportando pacotes entre pontos de entrada e saída, tendo a capacidade de gerir serviços de redes de computadores como velocidade, escalabilidade, gerenciamento de qualidade de serviço (QoS) e a necessidade de engenharia de tráfego (TE). (SANTOS, 2007)

Ele é referido por documentos do IETF como sendo uma camada intermediária entre as camadas 2 e 3, fazendo com que estas se “encaixem” melhor.

### 2.2.2 Histórico

Taft expõe que, na época em que o ATM (Asynchronous Transfer Mode) foi lançado, havia grandes expectativas sobre este, já que conseguia alcançar altas velocidades. No entanto, a tecnologia ATM não era compatível com o protocolo IP e por isso, acabou em desuso.

Com o intuito de deixar o ATM compatível com o IP foi criada a tecnologia LBS (Label Based Switching) que conseguia utilizar o melhor das redes baseadas em pacotes (como as redes IP) e das redes orientadas a conexão (como as redes ATM).

A tecnologia LBS usa rótulos pequenos e de tamanho fixo, que são agregados aos pacotes quando entram numa rede LBS. Os pacotes que recebem os rótulos podem ser divididos em categorias, sendo que os pacotes pertencentes à uma mesma categoria seguirão um mesmo caminho virtual, através da infra-estrutura LBS.

Essa "nova" idéia de comutação passa por vários nomes (patenteados), inclusive comutação de rótulos e comutação de tags:

- The cell switching router – CSR (Toshiba)
- Ipsilon's IP Switching
- Cisco's Tag Switching
- IBM's Aggregate Route-based IP Switching (ARIS)

Eventualmente, a IETF começou a padronizar a idéia sob o nome MPLS (MultiProtocol Label Switching — comutação de rótulos multiprotocolo). Ela é descrita na RFC 3031 e em muitas outras RFCs.

Algumas pessoas fazem distinção entre roteamento e comutação.<sup>3</sup> Roteamento é o processo que consiste em procurar um endereço de destino em uma tabela, a fim de descobrir para onde enviar um pacote. Em contraste, a comutação utiliza um rótulo tirado do pacote como um índice para uma tabela de encaminhamento. Porém, essas definições estão longe de ser universais.

O primeiro problema é onde pôr o rótulo. Tendo em vista que os pacotes IP não foram projetados para circuitos virtuais, não existe nenhum campo disponível para números de circuitos virtuais dentro do cabeçalho IP. Por essa razão, surgiu a necessidade de adicionar um novo cabeçalho MPLS antes do cabeçalho IP. Em uma linha de roteador para roteador e usando-se o PPP como protocolo de enquadramento, o formato do quadro, incluindo os cabeçalhos PPP, MPLS, IP e TCP, é semelhante ao da Figura 2.4. De certo modo, pode-se considerar que o MPLS é a camada 2,5. (TANENBAUM, 2002)

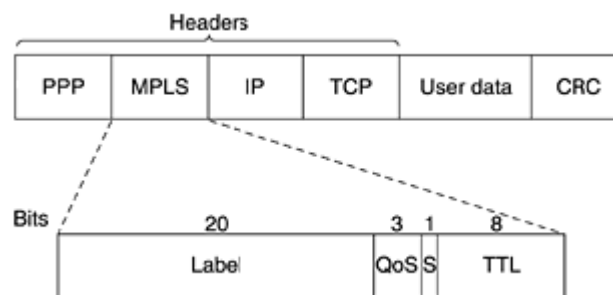


Figura 2.4: Um segmento TCP, MPLS e IP

## 2.2.3 Componentes de uma rede MPLS

### 2.2.3.1 Label

O *label* ou rótulo é um identificador curto, de tamanho fixo e significado local. Todo pacote ao entrar numa rede MPLS recebe um *label*, este pode ser pensado como uma forma abreviada para o cabeçalho do pacote. Desta forma os roteadores só analisam os *labels* para poder encaminhar o pacote. O cabeçalho MPLS deve ser posicionado depois de qualquer cabeçalho da camada 2 e antes do cabeçalho da camada 3, ele é conhecido como *Shim Header* e está apresentado na figura a seguir. (Taft, online)

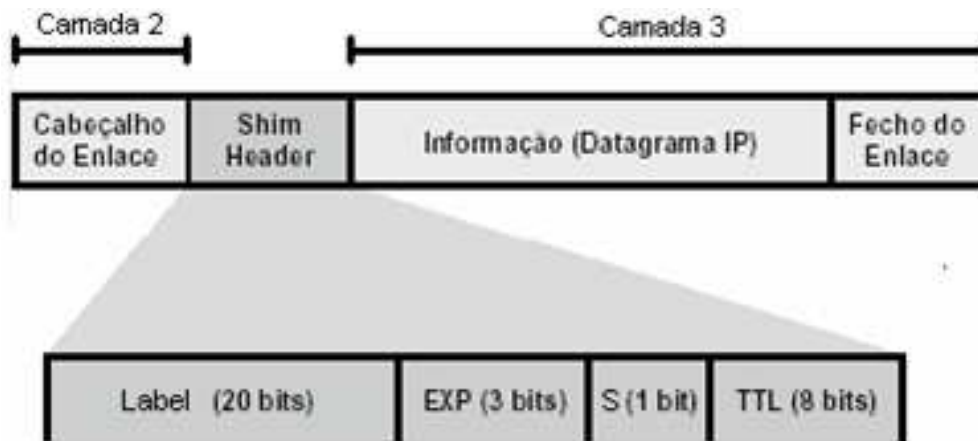


Figura 2.5: O cabeçalho MPLS – Shim Header

Onde:

- O campo *Label* contém o valor atual deste.
- O campo EXP define a classe de serviço a que um pacote pertence, ou seja, indica a prioridade do pacote.
- O campo S (*stack*) suporta o enfileiramento de *labels*. Caso o pacote receba mais de um *label*.
- O campo TTL (*Time to Live*) tem o mesmo papel que no IP, contar por quantos roteadores o pacote passou, num total de 255. No caso do pacote viajar por mais de 255 roteadores, ele é descartado para evitar possíveis *loops*.

### 2.2.3.2 Label Switch Path – LSP

LSP consiste em um caminho por onde os pacotes numa rede MPLS irão passar. Quando o pacote entra numa rede MPLS, este é associado uma classe de equivalência (FEC) e então é criada uma LSP para esta FEC. Como a criação da LSP ocorre somente na entrada de uma rede MPLS, os demais roteadores, ou seja, os *LSR-Label Switch Router* do núcleo irão somente chavear os *labels* encaminhando o pacote de acordo com a LSP pré determinada, não precisando mais fazer um roteamento dos pacotes. Os *labels* são distribuídos no momento do estabelecimento das LSPs. Uma LSP é unidirecional, portanto é preciso ter duas LSPs para uma comunicação entre duas entidades.(SANTOS, 2007)

### 2.2.3.3 Label Distribution – LDP

O LDP é um protocolo que permite a distribuição de *labels* entres os roteadores de comutação de rótulos (LSR), desta forma possibilitando a criação das LSPs. Para isto o LDP oferece um mecanismo de “descoberta” de LSR para permitir que LSRs encontrem uns aos outros e estabeleçam comunicação. O LDP roda sobre TCP para garantir a entrega de mensagens. Outros protocolos também podem ser usados para esta função como, por exemplo, o BGP ou RSVP.

### 2.2.3.4 Forwarding Equivalency Class – FEC

Uma FEC consiste numa classe de equivalência, ou seja, um conjunto de parâmetros, que irão determinar um caminho para os pacotes. Pacotes associados a uma mesma FEC serão encaminhados pelo mesmo caminho. A FEC é representada por um *label* e cada LSP é associada a uma FEC. Ao receber um pacote, o roteador da entrada da rede MPLS verifica qual FEC ele pertence e o encaminha através da LSP correspondente. Portanto há uma associação pacote-*label*-FEC-LSP. Esta associação pacote-FEC acontece apenas uma vez, quando o pacote entra na rede MPLS. Isto proporciona grande flexibilidade e escalabilidade a este tipo de rede.

A FEC pode ser determinada por um ou mais parâmetros, especificados pelo gerente da rede. Alguns desses parâmetros são:

- Endereço IP da fonte ou destino ou endereço IP da rede
- Número da porta da fonte ou destino
- ID do protocolo IP
- QoS

### 2.2.3.5 Label Information Base – LIB

O LIB contém uma tabela de encaminhamento, ou seja, uma tabela que apresenta informações correlacionando os *labels* às interfaces do roteador. Uma vez criada uma LSP, a relação do *label* com a interface, será armazenada no LIB. Quando o pacote entra no LSR, este verifica para qual interface esse pacote deve ser encaminhado, através do LIB. Sendo assim, realiza a troca do *label* de entrada por um *label* de saída, para que o pacote possa alcançar o próximo nó. Desta forma o LIB contém uma tabela que é usada para adicionar ou remover um *label* a um pacote, enquanto determina a interface de saída pela qual o pacote deve ser enviado.

### 2.2.3.6 Label Switch Router – LSR

LSRs são os roteadores de comutação de rótulos. Existem dois tipos de LSR: O E-LSR *Edge-Label Switch Router*, ou seja, o LSR de borda, também denominado LER *Label Edge Router* um nó MPLS que conecta um domínio MPLS com um nó fora deste domínio, e o LSRs que ficam situados no núcleo de uma rede MPLS. O LER de entrada de uma rede MPLS tem a função de inserir um *label* ao pacote, agrupá-los uma FEC e encaminhá-los através de uma LSP. Quando está situado na saída, é responsável pela retirada do *label* e a entrega do pacote a uma rede não MPLS. Os LSR do núcleo têm a função de encaminhar os pacotes baseados apenas no *label*. Ao receber um pacote, cada LSR troca o *label* existente por outro, passando o pacote para o próximo LSR e assim por diante até chegar ao LER de saída. (SANTOS, 2007)

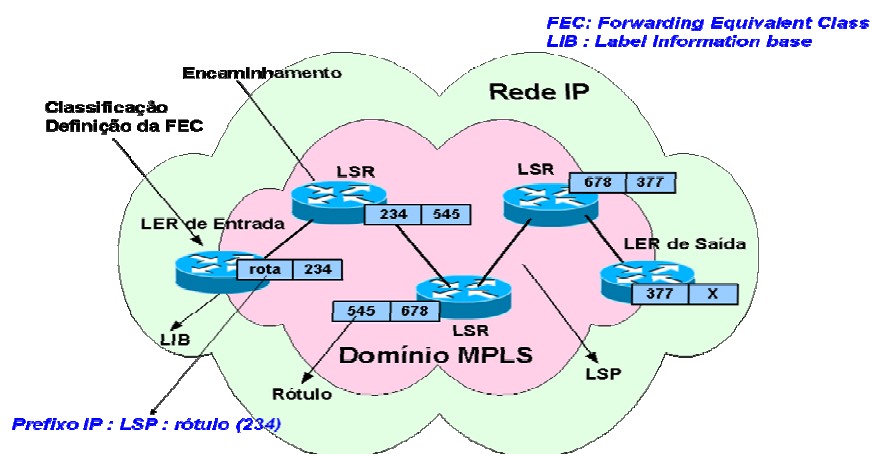


Figura 2.6: Arquitetura MPLS

### 3 ENCAPSULANDO ETHERNET EM REDES MPLS (EOMPLS)

#### 3.1 Definição

EoMPLS, permite que quadros da camada 2 sejam transportados através de uma rede Multiprotocol Label Switching (MPLS). Para o LSR encaminhar na prática os circuitos virtuais deve ter conectividade para transportar qualquer serviço para a camada 2. Assim a LER precisa ter a capacidade de transportar dados da camada 2 e vice-versa. O EoMPLS tem diversos mecanismos de apoio a este tipo de transporte. Estes mecanismos serão colocados a seguir.

Segundo a RFC 4888, um pseudowire, também conhecido como Martini-draft é usado para transportar PDUs do protocolo Ethernet/802.3 ao longo de uma rede MPLS. Este serviço permite aos provedores oferecer emulação de Ethernet sobre serviços existentes em redes MPLS. Este documento especifica o encapsulamento de PDUs Ethernet/802.3 dentro de um pseudowire. Também especifica procedimentos para a utilização de uma PW para fornecer serviços de rede Ethernet "ponto-a-ponto".

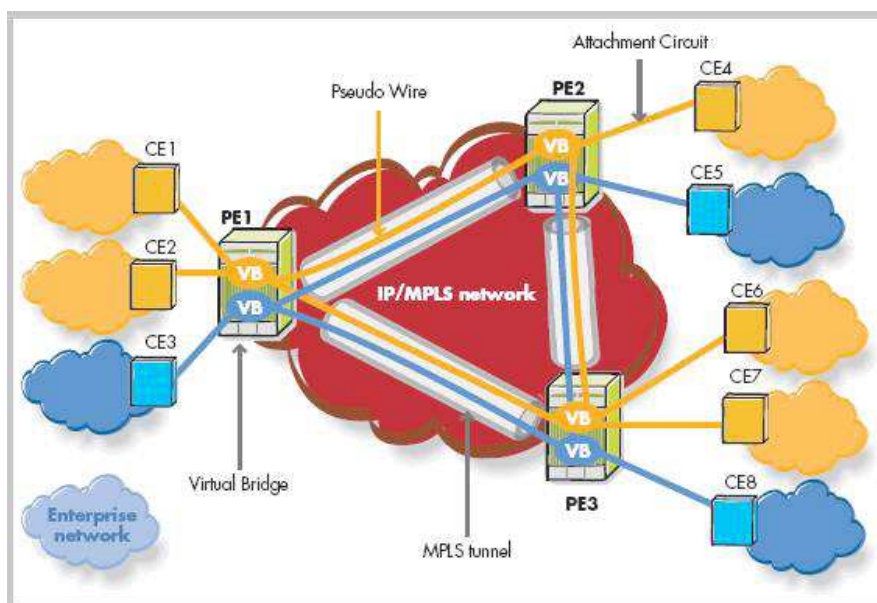


Figura 3.1: Uma rede ethernet “ponto a ponto”



- **CE: Cliente Edge:** roteador ou switch localizado no cliente.
- **PE: Provider Edge:** dispositivo onde a VPN origina-se e termina, onde todos os túneis são estabelecidos para a conexão com todos os outros PEs
- **Rede MPLS (núcleo):** rede que interconecta os PEs. Não participa da funcionalidade VPN. O tráfego é simplesmente comutado com base em rótulos MPLS

### 3.1.1 Funcionamento:

- O LER recebe um frame ethernet de um CE encapsula o pacote suprimindo o preâmbulo, o SFD e o FCS e aprende o endereço MAC, o resto do cabeçalho do pacote não é alterado;
- Verifica o endereço MAC de destino: se é desconhecido (ou se é broadcast), o frame é encaminhado aos demais roteadores da rede até que o destino responda e o endereço MAC seja aprendido;
- O LER adiciona um label de ponto-a-ponto circuito virtual e um label de túnel LSP, para um encaminhamento sobre o backbone MPLS;
- Os LSR do núcleo da rede utilizam o label de túnel para mover o pacote sobre a rede MPLS e não distinguem o tráfego de pacotes ethernet com os outros tipos de pacotes que trafegam no backbone MPLS;
- Na outra ponta do backbone MPLS, o LER de saída recebe o pacote e desencapsula retirando o label de túnel LSP. O mesmo roteador também remove o label de circuito virtual do pacote.

O backbone MPLS conforme já citado, utiliza labels de túnel para transportar pacotes entre os roteadores de borda. O LER de saída utiliza o labels de circuito virtual para indicar a interface destino para os pacotes ethernet. Os túneis EoMPLS são unidirecionais, para um tráfego bi-direcional é necessário a configuração de um túnel para cada direção.

### 3.1.2 EoMPLS Label Stack

Normalmente o EoMPLS utiliza dois níveis de labels. (O circuito virtual necessariamente utiliza um label, e o PSN (packet-switched network) não possui obrigatoriamente labels. Isto significa que os pacotes Ethernet que trafegam entre os LER utilizam pelo menos dois labels um externo e outro interno. O label externo, também conhecido com label de túnel ou Interior Gateway Protocol (IGP) label, envia pacotes sobre o backbone MPLS. O LER de saída determina o label interno, também chamado de VC label (ou pseudowire label). O VC label identifica o circuito designado pelo LER de saída. O LER de saída vincula a informação vinda da interface camada 2 coma configuração do VC ID e encaminha o VC label para o PE de entrada para utilizar na sessão da conexão LDP. (LUO, 2005)

### 3.1.3 O formato do pacote

O label interno e o label de túnel são compostos de dois níveis de entradas do label stack. O label de túnel encaminha pacotes vindo do PE de entrada para o PE de saída. O LER de entrada configura o campo VC label TTL com o valor de 2 (neste exemplo), e configura o campo TTL do túnel label com 255. Para indicar que o vc label é a entrada da pilha, o Pe de entrada marca o bit VC label end-of-stack com o valor 1.

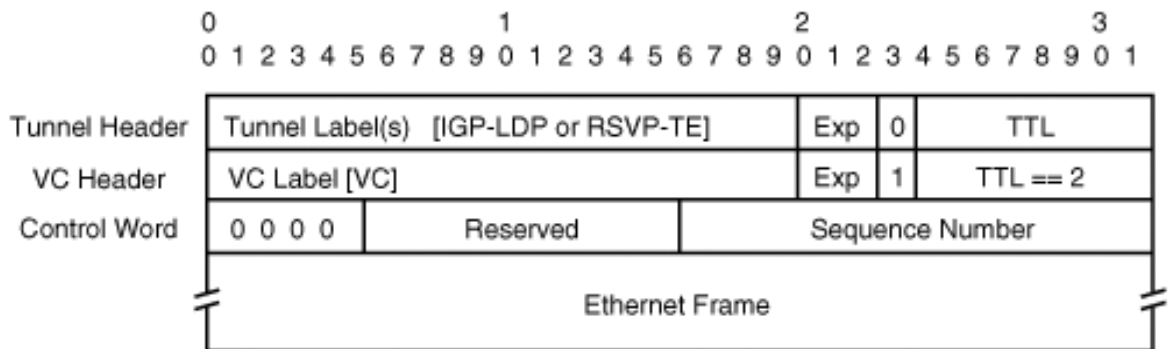


Figura 3.2: Formato do Pacote

### 3.1.4 Requerimento de tamanho MTU

Nos cenários mais comuns, os dois níveis de EoMPLS reservam 8 bytes para o frame da camada 2 (4 bytes cada). Os roteadores Cisco ainda podem utilizar 4 bytes de controle.

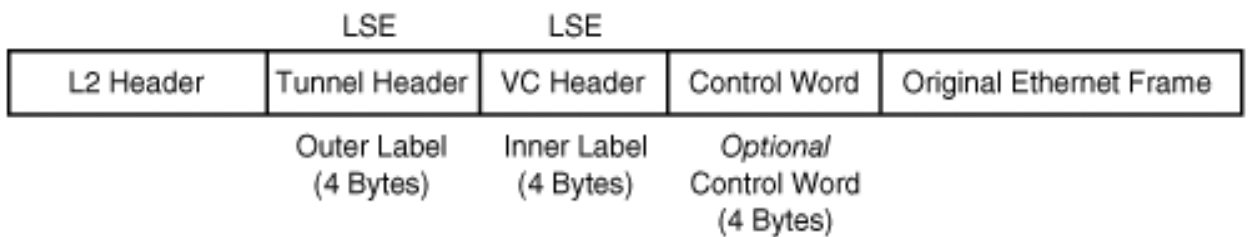


Figura 3.3: Cabeçalho EoMPLS

Tabela 3.1: Sumário da camada 2 e Componentes MPLS

<b>Campo</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Acesso</b>	<b>Comentarios</b>
Destination MAC address	First 6 bytes.	FIB[1] lookup, included in the rewrite string.	From ARP[2].
Source MAC address	Next 6 bytes.	MAC address of the router or switch.	Field is always the same.
Ethertype	Next 2 bytes.	0x8847.	MPLS Unicast indicated by 0x8847.
Tunnel labelMPLS label	20 bits (bits 019 after MAC header).	Derived from PSN label for the remote PE's FEC.	Information can be obtained through FIB lookup.
Tunnel labelEXP bits	3 bits. Bits 2022 of tunnel label.	Experimental bits in the tunnel PSN.	Intermediate LSRs can modify field when switching the packet through the PSN.
Tunnel labelS bit	1 bit. Bit 23 of tunnel label.	0.	The S bit in the Tunnel Label field is always set to 0 for the tunnel label to indicate that another LSE[5] follows.
Tunnel labelTTL field	8 bits. Bits 2431 of tunnel label.	Initially set to 255 or can be derived from the transported IP header.	This field is decremented in intermediate LSRs by means of TTL processing.
VC labelMPLS label	20 bits. Bits 019 after tunnel label.	Derived from the incoming packet's VLAN tag and the ingress port (that is, incoming attachment circuit).	VC label is associated with the egress attachment circuit and advertised through LDP. You obtain this information from the FIB lookup.
VC labelEXP bits	3 bits. Bits 20-22 of VC label.	Same as the tunnel EXP bits.	You can configure this field.
VC labelS bit	1 bit. Bit 23 of VC label.	1.	Because the VC label is the last label in the MPLS label stack, the S bit is always set to 1.
VC labelTTL field	8 bits. Bits 2431 of VC label.	2.	This field is always set to 2.

Fonte: LUO, 2005.

```

Ethernet II
  Destination: 00:03:a0:19:c0:c2
  Source: 00:03:a0:19:c5:02
  eType: MPLS Unicast (0x8847)
MultiProtocol Label Switching Header
  MPLS Label: 16
  MPLS Experimental Bits: 2
  MPLS Bottom Of Label Stack: 0
  MPLS TTL: 253
MultiProtocol Label Switching Header
  MPLS Label: 16
  MPLS Experimental Bits: 2
  MPLS Bottom Of Label Stack: 1
  MPLS TTL: 2
AToM EoMPLS Header
  AToM MPLS Control Word: 0x00000000
Ethernet II
  Destination: aa:aa:aa:aa:aa:aa
  Source: bb:bb:bb:bb:bb:bb
  Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)
802.1q Virtual LAN
  000. .... = Priority: 0
  ...0 .... = CFI: 0
  .... 0000 0110 0100 = ID: 100
  Type: IP (0x0800)
  Trailer: 00000000000000000000
Internet Protocol
  Version: 4
  Header length: 20 bytes
  ! Output omitted for brevity
  Time to live: 255
  Protocol: ICMP (0x01)
  Header checksum: 0xa3fd (correct)
  Source: 10.1.2.203 (10.1.2.203)
  Destination: 10.0.0.201 (10.0.0.201)
Internet Control Message Protocol
  Type: 8 (Echo (ping) request)
  Code: 0
  Checksum: 0xc15c (correct)
  Identifier: 0x000f
  Sequence number: 0x0000
  Data (8 bytes)

```

Figura 3.4: Exemplo de Frame EoMPLS

## 3.2 Suporte a Qualidade de Serviços (QoS)

QoS em EoMPLS habilita aos administradores de rede definir tipos de serviços diferenciados em uma rede MPLS. Cada pacote pode receber uma especificação diferenciada de pacote QoS, definindo assim prioridades. Pode-se através de configurações preservar os bits de QoS precedentes, da camada 3.

Ethernet sobre MPLS possibilita a Qualidade de Serviços (QoS) usando três bits experimentais no rótulo para determinar a prioridade dos pacotes. Para suportar QoS entre LERs, é necessário ativar os bits experimentais em todos os rótulos de circuito virtual e de túneis. Nos rótulos de circuitos virtuais é necessário ativar os bits experimentais porque o rótulo do túnel é aberto no penúltimo roteador.

### 3.3 Restrições e Limitações

Algumas restrições apontadas pela Cisco quanto a implementação do EoMPLS são:

**Fragmentação:** O EoMPLS não suporta fragmentação e remontagem, por isso é necessário assegurar que os MTU's sejam transportados com o mesmo valor durante toda a sua trajetória. As redes Ethernet limitam tamanho dos quadros a 1500 bytes, já nos datagramas IP podem chegar a 64 Kb, neste caso é necessário transmitir um datagrama de origem IP camada 3 utilizando vários quadros.

**Formato de endereço:** Todos os endereços de *loopback* dos roteadores PE necessitam ser configurados com máscaras de 32-bits para assegurar a operação de transferência MPLS. O protocolo OSPF exige a utilização de endereços *loopback*, assim cada roteador PE necessita de um endereço único (usualmente chamado *loopback*) que é utilizado para alocar um rótulo e habilitar o encaminhamento dos pacotes através do backbone.

**Formato dos Pacotes:** O EoMPLS suporta pacotes de vlans em conformidade com a norma IEEE 802.1 Q. O encapsulamento ISL (Inter Switch Link), protocolo proprietário da Cisco, não é suportado entre roteadores PEs e CEs.

**Vlans Privadas:** O EoMPLS não suporta Vlans privadas.

**Vlans para EoMPLS:** Quando trafegado através de interfaces POS (Packet Over SONET/SDH), o número máximo de vlans que utilizam EoMPLS em um Switch é 1005.

**Conexões nível 2:** Em backbones MPLS não se pode ter mais que uma conexão nível 2 em roteadores configurados para transportar Ethernet Vlan. Uma 2ª conexão causa o estado spanning-tree podendo desativar a 1ª.

EoMPLS e restrições de trunking:

- Para suportar ethernet spanning tree BPDUs (Bridge Protocol Data Units) sob um backbone EoMPLS, tem que desabilitar o spanning tree para nas vlans, para assegurar que serão transportados apenas os dados do trunk para o destino final.
- Uma vlan nativa em um trunk não poderá ser uma vlan EoMPLS.

## 4 CONCLUSÃO

Observa-se o MPLS cada vez mais se inserindo nos backbones das operadoras, porém o inverso não deverá ocorrer com seus antecessores. Tecnologias tradicionais como o Frame Relay e ATM continuarão a ser utilizadas. Entretanto, não significa que não haja espaço para novas ferramentas que venham a resolver novos problemas e até mesmo alguns antigos, beneficiando a utilização de novas aplicações.

A EoMPLS no Brasil ainda é pouco difundida, porém há motivos para apostar no crescimento da popularidade desta tecnologia. Segundo a Cisco 98% das redes corporativas nacionais baseiam-se no padrão Ethernet, o que já justificaria esta expectativa. Alguns consultores de telecom nacionais apostam na premissa de que Ethernet é muito mais barato que as soluções já instaladas como SDH, ATM ou FR (até 5 vezes mais barato por megabit). Seguem outras vantagens:

- Não necessidade de roteador na ponta do cliente, diminuindo custo;
- Flexibilidade (Para aumento de banda por demanda, por exemplo);
- Fácil Manutenção;
- Fácil gerenciamento;
- Equipamentos mais baratos do que nas redes mais “antigas” (ATM, SONET, FR, etc...);
- Cliente lida com uma interface Ethernet comum e bem conhecida, integrando-se perfeitamente a LAN já instalada;
- Possibilidade de o cliente pagar apenas pela banda utilizada (fácil implementação deste controle no lado da operadora).
- 

Buscou-se através deste estudo, demonstrar que a Ethernet sobre MPLS agrega inúmeras vantagens tanto para provedores quanto para clientes, em matéria de custos e qualidade. Por meio de padrões já existentes esta tecnologia consegue se inserir perfeitamente as redes das operadoras já instaladas, além de trabalhar com novos padrões, como Gigabit Ethernet. Com uma adequação do mercado dificilmente num futuro próximo não será um padrão de enorme sucesso e grande base de redes com conexões de ponta-a-ponta instaladas.

Fica como sugestão de outros estudos: cálculos de carga do MTU de frames Ethernet e as limitações do MPLS, ainda estudos futuros de equipamentos, cases e topologias EoPLS, permitindo uma avaliação real de análise custo-benefício.

## REFERÊNCIAS

BERREDO, M. **PADRÃO IEEE 802.3 e ETHERNET**. 2000. 18 f. Notas de Aula – Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro.

CARDOSO, R. **A integração de múltiplos serviços com o MPLS**. Redação Virtual Cisco. Nov. 2008. Disponível em: <<http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/perfistecnologicos/conectividade.asp?Id=18>>. Acesso em: nov. 2008

CISCO. **Ethernet over MPLS for the Cisco 7600 Series Internet Router**. Feature Guides. Disponível em: <[http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12\\_1/12\\_1ex/feature/guide/eompls9.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_1/12_1ex/feature/guide/eompls9.html)>. Acesso em: nov. 2008

LUO, W.; PIGNATARO, C.; CHAN, A. **Layer 2 VPN Architectures**. [S.l.]: Cisco Press, March 2005. Disponível em: <[http://fengnet.com/book/Layer\\_2\\_VPN\\_Architectures/](http://fengnet.com/book/Layer_2_VPN_Architectures/)>. Acesso em nov. 2008.

MARTINI, L.; ROSEN, E. **Encapsulation Methods for Transport of Ethernet over MPLS Networks**: RFC 4448. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2006.

PAULA, J. **Operadoras assumem interesse no pseudowire**. E-Thesis Tecnologia Artigos. 2007. Disponível em: <[http://www.e-thesis.inf.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2031&Itemid=52](http://www.e-thesis.inf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=2031&Itemid=52)>. Acesso em: nov. 2008.

SANTOS, C.; FERNANDES D.; MARCHETTI B. **MPLS: Re-roteamento Dinâmico em Redes IP Utilizando Network Simulator**. Tutoriais Banda Larga – Teleco, 2007. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmplsrd/default.asp>>. Acesso em: nov. 2008.

TAFT, B. **MPLS - Multiprotocol Label Switch** – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/grad/04\\_2/MPLS/main.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/04_2/MPLS/main.htm). Acesso em: nov. 2008.

TANENBAUM, A. **Redes de Computadores**. 4.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002.



TAYLOR, E. **TCP/IP Método Rápido**. Rio de Janeiro: Infobook, 1996.