

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
COMPUTAÇÃO

Renato Cesconetto dos Santos

Um estudo do Uso da Tecnologia MPLS em Backbones no
Brasil

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências da Computação

Roberto Willrich

Florianópolis, Fevereiro de 2003

Um estudo do Uso da Tecnologia MPLS em Backbones no Brasil

Renato Cesconetto dos Santos

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Ciências da Computação, área de Concentração Sistemas de Computação e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação.

Fernando Ostuni Gauthier, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora

Prof. Roberto Willrich, Dr.
Orientador

Prof. Mario Antonio Ribeiro Dantas, Dr.
Membro

Prof. Vitório Bruno Mazzola, Dr.
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, que é uma dádiva que nos é concedida a cada dia de nossas vidas.

Este é o ponto de chegada de uma longa jornada de trabalho de construção pessoal. Contudo não teria se materializado sem o apoio de professores amigos e familiares, na qual gostaria de destacar:

Prof. Dr. Roberto willrich, pela generosidade e competência, como orientador desse projeto estimulando e motivando a liberdade de criar e inovar.

Prof. Dr. Vitório Bruno Mazzola, coordenador do curso de Mestrado em Redes de computadores pela UFSC, pela competência e equilíbrio na condução do curso.

Prof. Mse Ricardo Ferreira Martins, também coordenador do curso de Mestrado em Redes de computadores pela UDESC, pela competência e equilíbrio na condução do curso.

Prof. Mse Roberto Alexandre Dias, pelas orientações para elaboração do formulário de pesquisa e avaliação dos resultados.

Aos meus colegas de turma, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos que responderam ao questionário da pesquisa, André Cunha, Cristiano Bianchi de Oliveira, Fauze Rodrigues de Aguiar, Fernando Simões Vassoler, Gustavo Fernandes Emery, Marco Antônio das Silva, Moisés Alves Lopes, Paulo Sérgio Ribeiro, Ricardo Vilella, Salvatore Giannotta Filho, Theóffanes Fonseca, Pois colaboraram para que este trabalho fosse concluído.

A Kenya Marcon, pela revisão ortográfica.

SUMÁRIO

Capítulo 1	Introdução	1
1.1	Objetivo	3
1.1.1	Objetivo geral	3
1.1.2	Objetivos específicos	3
1.2	Justificativas	3
1.3	Motivação	4
1.4	Organização do Documento	5
Capítulo 2	Fundamentos do MPLS	6
2.1	Componentes de uma rede MPLS	6
2.1.1	Forwarding Equivalence class - FEC	7
2.1.2	Label Switched Path - LSP	8
2.1.3	Modos de Controle do LSP	9
2.1.4	Controle Independente do LSP	9
2.1.5	Controle Ordenado do LSP	9
2.1.6	Label Edge Routers (LER)	10
2.1.7	Roteador de comutação por Rótulo (LSR)	10
2.1.8	NHLFE	12
2.1.9	Incoming Label Map (ILM)	13
2.1.10	FEC to NHLFE Map (FTN)	13
2.2	Modelo Básico de Rede MPLS	14
2.2.1	Operação do MPLS	14
2.3	Protocolo de Distribuição de Rótulos (LDP)	14
2.3.1	Mensagens LDP	15
2.3.2	Troca de tabelas de rotas no MPLS	17
2.3.3	Funções do LER	18
2.3.4	Funções do LSR	18
2.3.5	Encaminhamento em IP convencional e comutação por rótulo	19
2.3.6	Métodos de Distribuição de Rótulos	19
2.4	Codificação de Rótulos	20
2.5	Tipos de Rótulos	21
2.5.1	Encapsulamento Genérico "Shim Header"	21
2.5.2	Rótulo ATM	22
2.5.3	Rótulo Frame Relay	23
2.6	Pilha de Rótulo	23
2.7	Pares de Distribuição de Rótulos	25
2.8	Atribuição e Distribuição de Rótulos	25
2.9	Modo de Retenção de Rótulos	25

Capítulo 3	<i>Vantagens e desvantagens da Tecnologia MPLS</i>	27
3.1	Engenharia de Tráfego	28
3.1.1	Deficiências do IGP	28
3.1.2	Núcleo Base de Roteadores	29
3.1.3	Constraint-based routing (CR)	29
3.1.4	CR-LDP	30
3.1.5	CR-LSP	31
3.1.6	Capacidades do CR-LDP	32
3.1.7	RSVP	32
3.1.8	Roteamento Explícito	34
3.2	Qualidade de Serviço no MPLS	34
3.2.1	Serviços Diferenciados (DiffServ)	35
3.2.2	O Conceito do DiffServ	35
3.2.3	Comparação entre MPLS e DiffServ	35
3.2.4	Serviços Integrados	36
3.3	Rede Virtual Privada (VPN)	36
3.3.1	Blocos da Estrutura VPN	37
3.4	Desvantagens do MPLS em Backbones	37
3.5	Testes de Interoperabilidade realizados com MPLS	38
3.6	Empresas que utilizam a tecnologia MPLS	39
3.7	Perspectivas de tráfego na Internet brasileira.	40
3.8	Conclusão	41
Capítulo 4	<i>Uso da Tecnologia MPLS em Backbones Nacionais</i>	43
4.1	Procedimentos Metodológicos	43
4.1.1	Descrição básica da pesquisa	44
4.1.2	Perguntas da pesquisa	44
4.1.3	População	46
4.1.4	Amostra	46
4.2	Parte I. Geral.	46
4.2.1	Questão 1	46
4.2.2	Questão 2	47
4.2.3	Questão 3	48
4.2.4	Questão 4	49
4.3	Parte II. Empresa Provedoras de Serviços	50
4.3.1	Questão 5	50
4.3.2	Questão 6	51
4.3.3	Questão 7	51
4.3.4	Questão 8	52
4.3.5	Questão 9	53
4.3.6	Questão 10	54
4.3.7	Questão 11	55
4.3.8	Questão 12	56

4.3.9	Questão 13	57
4.3.10	Questão 14	58
4.3.11	Questão 15	59
4.3.12	Questão 16	60
4.3.13	Questão 17	60
4.4	Parte III.- Fornecedora de Equipamentos de Rede	61
4.4.1	Questão 18	61
4.4.2	Questão 19	62
4.4.3	Questão 20	63
4.4.4	Questão 21	64
4.4.5	Questão 22	65
4.4.6	Questão 23	65
4.4.7	Questão 24	66
4.4.8	Questão 25	67
4.5	Conclusão	68
Capítulo 5 Conclusão Final		72
5.1	Trabalhos Futuros	74
Referências		75

LISTA DE FIGURAS

<i>Título</i>	<i>Página</i>
Figura 1 vista em bloco da estrutura MPLS	07
Figura 2 Tipos de operações na tabela NHLFE	13
Figura 3 Modelo básico de rede MPLS	14
Figura 4 Exemplo de operação do MPLS	14
Figura 5 Formato do LDP	15
Figura 6 Troca de tabelas de rotas	17
Figura 7 Funções do LER e do LSR	19
Figura 8 Tipos de Rótulos	21
Figure 9 detalhes do rótulo para encapsulamento genérico "Shim Header"	22
Figura 10 Rótulo ATM	22
Figura 11 Posição do Rótulo MPLS no quadro <i>Frame Relay</i>	23
Figura 12 Exemplo de pilha de rótulos	24
Figura 13 Exemplo de deficiências do IGP	29
Figura 14 Fluxo básico para configuração LSP usando o CR-LDP	30
Figura 15 Fluxo básico para configuração de um LSP usando RSVP para túneis LSP	33
Figura 16 Perspectivas de usuários na Internet brasileira	41

LISTA DE TABELAS E EXEMPLOS

<i>Título</i>	<i>Página</i>
Exemplo 1 de LSR <i>Downstream</i> e <i>Upstream</i> .	11
Exemplo 2 de LSR <i>Downstream</i> e <i>Upstream</i> .	11
Exemplo 3 de LSR <i>Downstream</i> e <i>Upstream</i> .	11
Tabela 1 Exemplo de mapeamento <i>Incoming Label Map</i> .	13
Tabela 2 Exemplo de mapeamento "FEC to NHLFE Map (FTN)".	13
Tabela 3 comparação entre MPLS e DiffeServ.	36

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Título</i>	<i>Página</i>
Gráfico 1 – Questão 1.	46
Gráfico 2 – Questão 2.	47
Gráfico 3 – Questão 3.	48
Gráfico 4 – Questão 4.	49
Gráfico 5 – Questão. 5	50
Gráfico 6 – Questão 6.	51
Gráfico 7 – Questão 7.	52
Gráfico 8 – Questão 8.	53
Gráfico 9 – Questão 9.	54
Gráfico 10 – Questão 10.	55
Gráfico 11– Questão 11	56
Gráfico 12– Questão 12	57
Gráfico 13– Questão 13.	57
Gráfico 14– Questão 14.	58
Gráfico 15– Questão 15.	59
Gráfico 16– Questão 16.	60
Gráfico 17– Questão 17.	61
Gráfico 18– Questão 18.	62
Gráfico 19– Questão 19.	62
Gráfico 20– Questão 20.	63
Gráfico 21– Questão 21.	64
Gráfico 22– Questão22.	65

Gráfico 23– Questão23.	66
Gráfico 24– Questão24.	67
Gráfico 25 – Questão25.	67
Gráfico 26.	69
Gráfico 27	69
Gráfico 28	70
Gráfico 29	70

GLOSSÁRIO

LER *Label Edge Router*

LSP *Label switched Path*

LSR *Label Switched Router*

Mbps *Megabits per Second*

MIB *Management Information Base*

MPLS *Multi-Protocol Label Switching*

OSPF *Open System Shortest Path First*

PHBs *Per-Hop Behaviours*

QoS *Quality of Service*

SVC *Soft Virtual connection*

TCP/IP *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

VoIP *Voice over IP*

VPN *Virtual private Network*

WAN *Wide Area Network*

RESUMO

O MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) é uma tecnologia emergente, que torna possível a transição das redes IP atuais, de melhor esforço, para redes IP de multiserviço. Esta tecnologia tende ser a base da nova rede pública em um futuro próximo. As vantagens são inúmeras, tais como prover VPN, Engenharia de Tráfego e facilitar a implantação de QoS na rede. Este trabalho avalia o potencial da nova tecnologia MPLS no setor das telecomunicações brasileiras e o seu efetivo uso no processo de modernização das redes, para com isso se ter uma visão mais definida da evolução de infra-estrutura de comunicação de dados no Brasil. Os objetivos de investimentos em novas tecnologias como o MPLS, os problemas encontrados na sua implantação e testes, e os benefícios que traz para as operadoras de serviço e seus usuários, serão também objetos de estudo deste trabalho. Através deste estudo demonstra-se a viabilidades desta tecnologia para o mercado atual e também seu uso nas redes de nova geração.

ABSTRACT

MPLS (Multiprotocol Label Switching) is an emergent technology, that becomes possible the transistion from current IP networks best effort to multiservice IP networks. This technology tends to be the base of the new public network in a near future. The advantages are innumerable, such as to provide VPN, Traffic Engineering and to facilitate the implemantation of QoS in the networks. This work evaluates the potential of new technology MPLS in the Brazilian telecommunications sector and its effective use in the process of modernization of the networks, this way having a more definite vision of the infrastructure evolution of data communication in Brazil. The objectives of investments in new technologies as MPLS, the problems found in its implantation and tests, and the benefits that bring for the service providers and its users, will be also objects of study in this work. Besides, this study proves the tendency of this technology at the actual networks, and also its use in the new generation networks.

Capítulo 1 Introdução

A relação de distância entre pessoas no mundo está a cada dia mais imperceptível, principalmente em se tratando de comunicação. Telégrafos, telefone, fax, rádio, televisão, Internet [1], são exemplos dessa evolução, porém, cada qual com suas particularidades quanto à forma de propagação da mensagem. A telefonia vem evoluindo a cada dia, *passou* de centrais telefônicas analógicas para centrais digitais [1], possibilitando com isso novos serviços, como transferência de chamadas, conferências, siga-me etc. Paralelamente, tem-se a grande expansão das redes de dados principalmente com a Internet, com a qual surgiram os "e-mail", e a facilidade de consulta a uma infinidade de informações pelo mundo todo através do *World Wide Web* (www). A cada dia surgem novos serviços que fazem uso da Internet; um exemplo são as aplicações de videoconferência, VoIP, que introduzem novos requisitos de qualidade de serviço. Pelo fato da Internet trabalhar com protocolos TCP/IP e fazer o roteamento dos pacotes no nível da camada de rede, baseado predominantemente em software, a mesma não oferece garantias na entrega dos pacotes, serviço do tipo melhor esforço. Com essa tecnologia, a Internet não consegue suportar o volume crescente de tráfego e, ao mesmo tempo, oferecer classes de serviço diferenciadas aos usuários em função de seus diferentes perfis. Pode-se dizer também que os recursos existentes não são adequados à realização de uma engenharia de tráfego confiável.

No contexto das redes IP, a IETF (*International Engineering Task Force*) criou o MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) [8,39], a partir de trabalhos realizados por empresas do ramo como a Ipsilon que deu início com o *IP Switching* [39], a CISCO que desenvolveu o *TAG Switching* [39], a IBM com o *ARIS (Aggregate Route-based IP Switching)*. [39]. O MPLS é uma forma padronizada de comutação de pacotes, ele utiliza rótulos que são acrescentados aos pacotes IP, substituindo o seu mecanismo de encaminhamento *hop-by-hop*, o qual permite a cada nó escolher independentemente o próximo nó para o caminho de um determinado fluxo. No MPLS o encaminhamento é feito por um mecanismo de troca de rótulos. O MPLS simplifica o encaminhamento dos pacotes, permitindo escalabilidade para altas taxas de comunicação. Além disso, ele introduz um paradigma de "orientado a conexão" ao

mundo IP, o que facilita o fornecimento de QoS (*Qualidade de Serviço*) e CoS (*Classes de Serviço*) e permite o uso de engenharia de tráfego:

- Com o uso do roteamento explícito, bem como o baseado em restrições (*Constraint Based Routing*), permite implementar sofisticados mecanismos de engenharia de tráfego.
- MPLS facilita o isolamento de redes IP com o esquema de não utilizar somente um único endereço IP, deste modo possibilita o suporte para Redes Virtuais Privadas (VPN - *Virtual Private Networks*).

A arquitetura MPLS não está amarrada a nenhuma tecnologia da camada dois ou três, porém o protocolo corrente da camada três mais utilizado é o IP, entretanto a independência arquitetural das tecnologias da camada dois protege os investimentos feitos nas mesmas e abre a possibilidade de migração para novas tecnologias da camada dois, investimentos feitos em *Frame Relay* e ATM podem ser preservados, ao mesmo tempo em que facilita a atualização para, por exemplo, uma base de comutação óptica como (DWDM - *Dense Wavelength Division Multiplexing*) [35], tornando o MPLS um protocolo versátil e com grandes possibilidades de ser utilizado nas redes do futuro.

O MPLS é um novo passo na tecnologia de roteamento e encaminhamento usado em *backbones* Internet, pois o mesmo consegue integrar o plano de controle da Internet (roteamento) com a simples e eficiente operação de comutação da camada dois (encaminhamento). Atualmente o MPLS não produz ganhos em termos de eficiência de encaminhamento em relação ao roteamento IP, principalmente, pois este último já tem uma implementação otimizada. Muitas vezes implementada em hardware pelos sistemas dos roteadores, o MPLS necessita ser implementado em software, mas a maior contribuição do MPLS é a clara separação destas duas componentes, roteamento e encaminhamento, facilitando a implantação de gerenciamento de Qualidade de Serviço e Engenharia de Tráfego.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo do projeto é avaliar o potencial da nova tecnologia MPLS, os problemas encontrados na sua implementação e ou testes, seus benefícios no setor de telecomunicações brasileira e seu efetivo uso no processo de modernização das redes de telecomunicações.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são os seguintes:

- Identificar as expectativas das empresas de serviço de telecomunicações em função da potencialidade da nova tecnologia MPLS como meio de prover novos serviços no setor de telecomunicações;
- Identificar as vantagens e desvantagens de uma empresa utilizar a tecnologia MPLS em sua infra-estrutura de telecomunicações;
- Levantar o custo para implantação da tecnologia MPLS em relação à tecnologia existente;
- Levantar os principais problemas encontrados na implantação e teste com a tecnologia MPLS;
- Identificar os principais serviços vendidos pelas operadoras que utilizam a tecnologia MPLS;
- Contrastar os dados teóricos com os dados da pesquisa de campo e com isso elaborar um parecer do futuro da tecnologia MPLS nas redes de nova geração no Brasil.

1.2 Justificativas

As potencialidades das novas tecnologias no setor de telecomunicações, como é o caso do MPLS, têm gerado grandes expectativas devido ao seu efetivo uso no processo

de modernização das organizações e na sociedade como um todo, pois a Internet, a maior rede de informações disponível no planeta, é a maior revolução cultural do século passado. Hoje, são criados novos serviços a todo momento, informações giram o mundo em segundos, exigindo cada vez mais recursos da rede para escoar esse tráfego.

O grande desafio é saber usar efetivamente os recursos das novas tecnologias de maneira dinâmica e eficiente.

1.3 Motivação

Um dos principais esforços atuais na área de redes de comunicação diz respeito à unificação das tecnologias existentes para transporte de voz, centrais telefônicas, PSTN (*Public Switched Telephone Network*) [1] e de dados TCP/IP, utilizando a Internet e redes corporativas. Com isso, fabricantes de centrais telefônicas (PSTN), fabricantes de equipamentos para redes de dados (TCP/IP) e pesquisadores, estão trabalhando para criar soluções que possibilitem a convergência das tecnologias para uma plataforma única. Levando em conta que tanto o parque instalado de centrais telefônicas quanto o de equipamentos para atender a Internet são imensos, e que os serviços estão a cada dia exigindo maior largura de banda, nada mais justo que esforços sejam feitos para otimizar o meio e os recursos já existentes. A implantação da tecnologia MPLS pode ser um importante passo para que essa integração ocorra. A possibilidade de integração do mundo "velho" com o mundo "novo", onde novos serviços como multimídia se tornassem possíveis, é importante para as telecomunicações e será gratificante para aqueles que colaborarem para que isso ocorra.

1.4 Organização do Documento

Esta dissertação tem por objetivo averiguar o potencial da nova tecnologia MPLS no setor de telecomunicações do Brasil, seu efetivo uso nos prestadores de serviços seus conseqüentes reflexos nos processos de mudanças e modernização das empresas para atenderem novos serviços. Para tanto, o trabalho foi estruturado em duas etapas, partindo do geral para o específico, a saber:

A primeira parte desta dissertação resume o estudo bibliográfico realizado. No capítulo II serão abordados os fundamentos da tecnologia MPLS, no capítulo III as principais vantagens do uso da tecnologia MPLS, a saber: redes privadas virtuais, qualidade de serviço e engenharia de tráfego.

Na segunda e última etapa, no capítulo IV será apresentada a avaliação dos dados da pesquisa de campo, que foi realizada por meio de um questionário enviado a fabricantes de equipamentos de telecomunicações, pesquisadores e provedores de serviços. Com esse resultado se avalia a perspectiva da tecnologia MPLS nos *backbones* no Brasil.

Por fim, o capítulo V apresentará as conclusões deste estudo.

Capítulo 2 Fundamentos do MPLS

Atualmente o rápido crescimento da Internet, aumentou a demanda por banda e por novos serviços, serviços estes que requerem garantias em dois sentidos, confiança e qualidade. Diante deste cenário surge a necessidade de uma tecnologia que atenda a essa demanda. Neste capítulo serão abordados os fundamentos desta nova tecnologia, o MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), seus principais componentes tais como FEC, LSP, LER, LSR, LDP, rótulos, bem como o modo de operação.

O MPLS é um padrão da IETF (*Internet Engineering Task Force*) que foi desenvolvido em cima de algumas experiências similares, mas proprietárias de soluções de comutação. Ele é uma tecnologia que torna possível a transição de redes IP atuais baseadas em "melhor esforço" para redes de multiserviço IP as quais formarão a base da nova rede pública do amanhã.

Neste capítulo será apresentado o embasamento teórico da tecnologia MPLS, serão mostrados seus principais componentes e seus modos de operação, bem como, o modo de operação da tecnologia como um todo e sua interação com protocolos de tecnologia consumada como IP, ATM e *Frame Relay*.

2.1 Componentes de uma rede MPLS

Um dos principais conceitos do MPLS é a classe equivalente de encaminhamento FEC (*Forwarding Equivalence Class*) [8, 10, 30] que define o caminho dos pacotes através de rótulos. Para uma FEC particular, a concatenação de caminhos comutados, forma um caminho unidirecional através da rede, conhecido como caminho comutado por rótulo LSP (*Label Switthed Path*) [8,10], ou seja, pacotes pertencentes a uma FEC comum, sempre pegam o mesmo caminho através do domínio MPLS. O LSP consiste de saltos comutados por rótulo "*Label Switched Hops*" entre pares de LSRs.

A arquitetura MPLS emprega dois tipos principais de roteadores, LSR (*Label Switching Router*) [8] que possuem somente interfaces puramente MPLS, possibilitando enviar o tráfego baseado puramente em rótulos, ou seja, trabalha somente com a camada 2. Para tratar os pacotes vindo das redes IP existe o LER (*Label Edge Routers*), que pode

ser de ingresso ou egresso na rede MPLS, dependendo se o pacote está entrando ou saindo do domínio MPLS. Cada LSR e LER mantêm uma base de informação de rótulos conhecida como LIB (*Label Information Base*). A mesma é usada para dar encaminhamento aos pacotes.

Na figura 1 é mostrado a vista em bloco da estrutura MPLS.

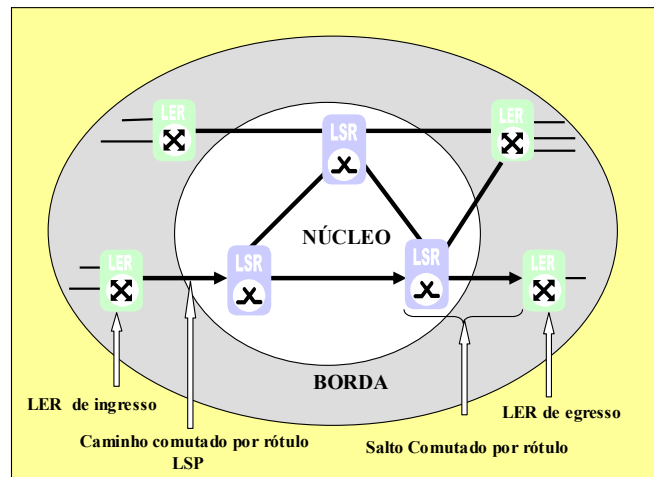


Figura 1 Vista em bloco da estrutura MPLS

2.1.1 Forwarding Equivalence class - FEC

A contribuição mais importante do MPLS é a possibilidade de introduzir o paradigma de conexão orientada nas redes IP. Por esta razão, os pacotes devem ser classificados em "fluxos" ou categorias, agrupando estes que devem ser tratados do mesmo modo. Uma categoria deste tipo é denominada FEC (*Forwarding Equivalence class*) em MPLS. Uma FEC pode ser definida como um atributo de pacotes que serão encaminhados da mesma maneira, ou seja, sobre o mesmo caminho com o mesmo tratamento de envio. Todos os pacotes pertencentes à mesma FEC seguirão o mesmo caminho no domínio MPLS.

Uma vez que um pacote seja designado para uma FEC, ele é rotulado com uma identificação única da FEC à qual o pacote pertence. O mapeamento de um rótulo para uma FEC é denominado como uma amarração de rótulo. Cada LSR (*Label Switching router*) amarra um rótulo a todas as FECs que ele reconhece. O salto entre dois LSRs, nos

quais o envio é feito usando rótulos, é conhecido como um salto comutado por rótulo (*Label switched hop*).

As FECs são mapeadas diretamente para os LSPs (*Label Switch Paths*) [30]. Uma FEC é definida como um grupo de pacotes de nível três, que podem ser encaminhados da mesma maneira. Uma FEC pode compreender o tráfego para um destino em particular, ou, mais especificamente, compreender o tráfego para um destino particular com requisitos de tráfego distintos.

O MPLS permite que o pacote IP seja associado a FEC uma única vez, no roteador de entrada da rede MPLS (LER de Ingresso).

Mapear pacotes IP para a FEC requer um conhecimento do usuário que está transmitindo o pacote. Desta maneira pode-se fazer os filtros baseados no endereço de origem e de destino, interface de entrada, entre outras características. Assim o MPLS pode oferecer um método eficiente de associação de rótulo com a qualidade de serviço QoS (*Quality of Service*), associada a um pacote específico.

2.1.2 Label Switched Path - LSP

Um caminho comutado por rótulo LSP (*Label Switched path*) é um atributo dos LSRs através do qual pacotes pertencentes a uma certa FEC viajam a fim de alcançar seus destinos. Ele também pode ser conceituado como a concatenação de um ou mais saltos de comutação de rótulos, permite que um pacote seja enviado pela troca *swapping* de rótulo de um LSR para o outro.

Para uma FEC particular, as concatenações dos saltos comutados por rótulos formam um caminho unidirecional através da rede, o qual é denominado como um caminho comutado por rótulo LSP (*Label Switched Path*).

Um pacote rotulado é enviado dentro da rede pela comutação baseada puramente neste rótulo, ou seja, o cabeçalho da camada três não é examinado de forma alguma. Além de melhorar a eficiência do envio, isto habilita o LSP a carregar informações dentro do núcleo da rede o que não pode ser obtido processando o cabeçalho da camada três. Por exemplo, pacotes não rotulados chegando na entrada da rede MPLS em diferentes portas podem ser determinados para diferentes FEC (e deste modo para diferentes LSPs). Esta

informação é carregada pelo rótulo (identificando o LSP) dentro do núcleo de LSRs. porém no envio convencional, pode-se somente considerar informações que viajem com o pacote no seu cabeçalho.

O caminho que o pacote pega numa rede MPLS é determinado pelo protocolo de roteamento IP, diferente de IP sobre ATM, onde a parte de comutação da rede ATM é completamente obscura visto por um protocolo de roteamento IP. Já no MPLS os LSRs são completamente “visíveis” ao protocolo de roteamento IP.

2.1.3 Modos de Controle do LSP

Algumas FECs correspondem a prefixos de endereços que são distribuídos via um algoritmo de roteamento dinâmico. Os atributos dos LSPs para estas FECs podem ser feitos em um ou dois caminhos: Controle independente do LSP ou controle regular do LSP.

2.1.4 Controle Independente do LSP

No Controle Independente do LSP, cada LSR, reconhece uma FEC particular, toma uma decisão independente de amarrar um rótulo a essa FEC e distribuir essa amarração para seus pares de distribuição de rótulos. Isto corresponde ao caminho pelo qual trabalha o roteamento de datagrama do IP convencional; cada nó toma uma decisão independente no tratamento de cada pacote como tratar cada pacote, e confiam ao algoritmo de roteamento a rápida convergência assegurando assim que cada datagrama seja entregue corretamente.

2.1.5 Controle Ordenado do LSP

Em um controle ordenado do LSP, um LSR somente liga um rótulo a uma FEC particular se ele é um LSR de egresso para esta FEC, ou se ele já tenha recebido uma amarração para esta FEC do seu próximo salto para a FEC em questão.

Se alguém quer assegurar que o tráfego em uma FEC particular siga um caminho com a mesma especificação de propriedade (ou seja, que o tráfego não atravesse algum nó duas vezes, que uma soma especificada de recursos esteja disponível para o tráfego, que o

fluxo de tráfego siga um caminho explicitamente especificado, etc), é necessário o uso do controle ordenado.

Os dois modos podem ser usados simultaneamente, ambos são completamente compatíveis.

2.1.6 Label Edge Routers (LER)

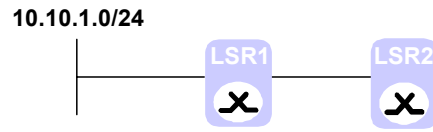
Os Roteadores a Rótulo de Borda LER (*Label Edge Routers*) ou (*Edge LSR*) [11,30] estão localizados nas bordas das redes, onde manipulam tradicionais funções de roteamento e providenciam a conectividade para os usuários da rede. Os LERs analisam e classificam os pacotes IP que entram na rede, adicionando pequenos rótulos que indicam qual caminho o pacote deve tomar. Os LERs são chamados de LSRs de ingresso *Ingress LSRs* e LSRs de egresso *egress LSRs*. O LSR *ingress* é o LSR que analisa os pacotes que estão entrando no domínio MPLS e o *egress* é o LSR que analisa os pacotes que estão saindo do domínio MPLS.[8]

2.1.7 Roteador de comutação por Rótulo (LSR)

Os Roteadores de comutação por Rótulo LSR (*Label Switching Routers*) [30] estão localizados no núcleo das redes e desempenham uma alta performance de comutação por rótulos. Os LSRs encaminham pacotes, identificados por rótulos, ao longo de caminhos pré-definidos. [8]

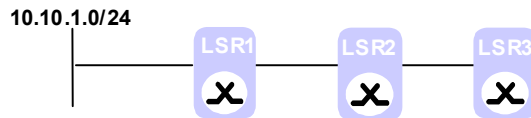
Label Switching Routers (LSR) Upstream and Downstream.

Upstream e *downstream* são termos relativos no mundo MPLS. Eles sempre se referem ao prefixo, mais apropriadamente a uma FEC. Como pode ser verificado nos exemplos a seguir:



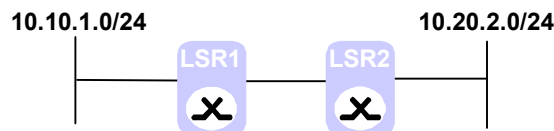
Exemplo 1

No exemplo 1, para a FEC 10.10.1.0/24 o LSR1 é o LSR *Downstream* para O LSR2. Para a FEC 10.10.1.0/24 o LSR2 é o LSR *Upstream* para O LSR1.



Exemplo 2

No exemplo 2 para a FEC 10.10.1.0/24 o LSR1 é o LSR *Downstream* para o LSR2 e o LSR2 é o LSR *Downstream* para o LSR3.



Exemplo 3

No exemplo 3 para a FEC 10.10.1.0/24 o LSR1 é o *Downstream* LSR para O LSR2. Para a FEC 10.20.2.0/24 o LSR2 é o *Downstream* LSR para O LSR1.

Estrutura de Dados Usada pelos LSRs

A seguir um breve resumo da estrutura de dados que suportam as informações de controle de envio nos LSRs.

2.1.8 NHLFE

O NHLFE (*Next Hop Label Forwarding Entry*) [8], tipo de entrada comum em outras tabelas determina a operação executada pelo LSR quando do envio de um pacote rotulado. Contém informações como, o próximo passo do pacote, a operação realizada na pilha de rótulo do pacote, que pode ser uma das seguintes:

- Substituir o rótulo do topo da pilha de rótulo (Ver seção 2.6 neste capítulo) por um novo rótulo especificado.
- Ler e remover o último rótulo da pilha
- Substituir o rótulo do topo da pilha de rótulo por um novo rótulo especificado, e então empurrar um ou mais novos rótulos especificados para a pilha de rótulo.
- Encapsulamento do enlace de dados usado quando o pacote é transmitido.
- Caminho para codificar a pilha de rótulo quando o pacote é transmitido.
- Qualquer outra informação necessária a fim de dispor propriamente do pacote.[8]

Note que em um dado LSR, o próximo salto do pacote pode ser o próprio LSR. Neste caso, o LSR necessitaria ler e remover o rótulo no topo pilha, e então enviar o resultado do pacote para ele mesmo. Ele deveria então fazer outra decisão de envio, baseada no que restou após ser lido e retirado o rótulo no nível mais elevado da pilha de rótulo. Este pode ser ainda um pacote rotulado, ou ser um pacote IP nativo. Isto implica que em alguns casos o LSR pode precisar operar no cabeçalho IP a fim de enviar o pacote.

Se o próximo salto do pacote é o corrente LSR, então a operação da pilha de rótulo deve ser para ler e retirar um rótulo da pilha de rótulos *pop the stack*.

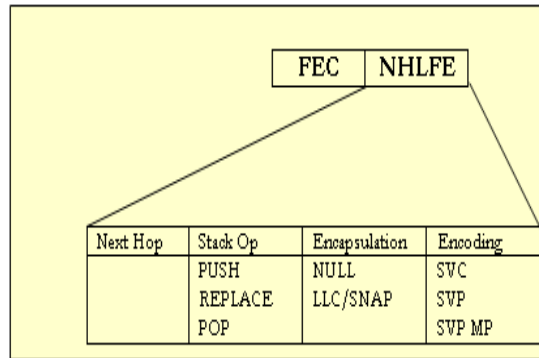


Figura 2 Tipos de operações na tabela NHLFE

2.1.9 Incoming Label Map (ILM)

O ILM (*Incoming Label Map*) mapeia cada rótulo que chega para um atributo de NHLFEs. Ele é implementado somente nos LSR, ou seja, trabalha somente com pacotes rotulados. A tabela 1 mostra um exemplo de mapeamento feito pelo *Incoming Label Map*.

Incoming Label Map	
Rótulo 1	NHLFE B
Rótulo 2	NHLFE C
Rótulo 3	NHLFE D

Tabela 1 Exemplo de mapeamento *Incoming Label Map*.

2.1.10 FEC to NHLFE Map (FTN)

"FEC to NHLFE Map (FTN)" mapeia cada FEC para um atributo de NHLFEs. Ela é usada somente nos LER, ou seja, em pacotes que não são rotulados, mas, que devem ser rotulados antes do envio. A tabela 2 mostra um exemplo de mapeamento feito pelo "FEC to NHLFE Map (FTN)".

FEC to NHLFE Map (FTN)	
FEC 1	NHLFE B
FEC 2	NHLFE C
FEC 3	NHLFE D

Tabela 2 Exemplo de mapeamento "FEC to NHLFE Map (FTN)".

2.2 Modelo Básico de Rede MPLS

Na figura 3 abaixo é visto o que se pode chamar de modelo Básico de uma rede MPLS onde estão apresentados os principais componentes de uma rede MPLS.

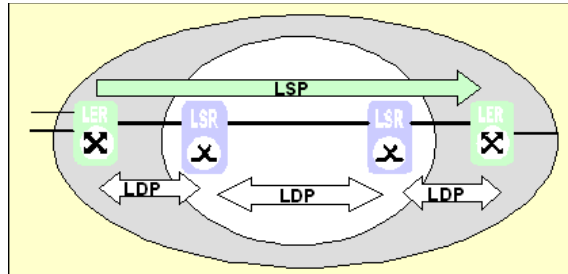


Figura 3 Modelo básico de rede MPLS

2.2.1 Operação do MPLS

O modo de operação do MPLS diverge do modo de operação do IP, pois os pacotes são analisados na camada três somente quando entram ou quando saem do domínio MPLS, este trabalho é feito pelo LER que além de analisar o cabeçalho IP faz a amarração do rótulo com a FEC de destino, a partir daí o pacote é conduzido através da rede pelos LSR que manipulam apenas rótulos, como é demonstrado na figura 4.

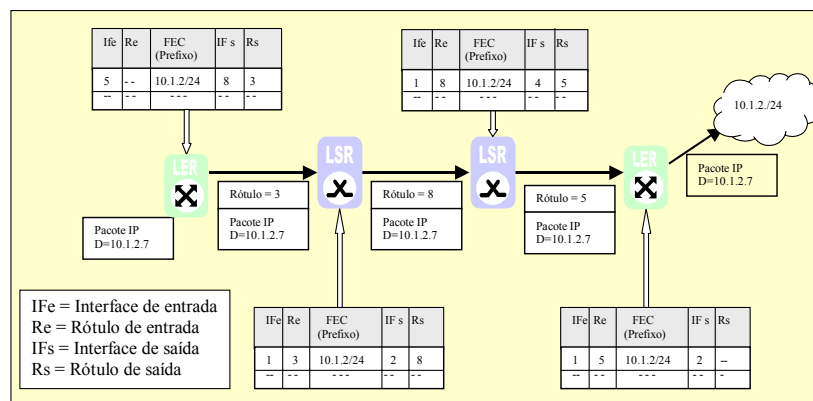


Figura 4 Exemplo de operação do MPLS

2.3 Protocolo de Distribuição de Rótulos (LDP)

O Protocolo de Distribuição de Rótulos LDP (*Label Distribution Protocol*) [10] é uma especificação que permite a um LSR distribuir amarrações de rótulos aos seus

pares de distribuição de rótulos. Quando um LSR designa um rótulo a uma FEC ele precisa deixá-la apropriada aos seus pares de distribuição de rótulos para eles tomarem conhecimento deste rótulo e o que ele significa. O LDP é usado para este propósito. Desde o momento em que o rótulo é atribuído ao pacote pelo LSR de ingresso até a saída pelo LSR egresso em um domínio MPLS, define-se um LSP e como os rótulos são um mapa da camada três (roteamento) para a camada dois (comutação de caminhos), o LDP ajuda a estabelecer uma LSP usando um atributo de procedimentos para distribuição de rótulos entre os pares de LSR.

O LDP também realiza negociação na qual dois pares de distribuidores de rótulos precisam empenhar-se a fim de aprender mutuamente sobre capacidades do MPLS (espaço do rótulo, encapsulamento, etc.) a arquitetura MPLS não assume que exista somente um simples protocolo de distribuição de rótulos. De fato, um número de diferentes protocolos de distribuição de rótulos está sendo padronizado. Existem protocolos que foram estendidos para que a distribuição de rótulos possa ser sobreposta a eles (BGP, RSVP) [22]. Novos protocolos também foram definidos para a explícita proposta de distribuição de rótulos (LDP, CR-LDP).[10,22]

2.3.1 Mensagens LDP

Todas as mensagens LDP seguem o formato apresentado na figura 5 [10]

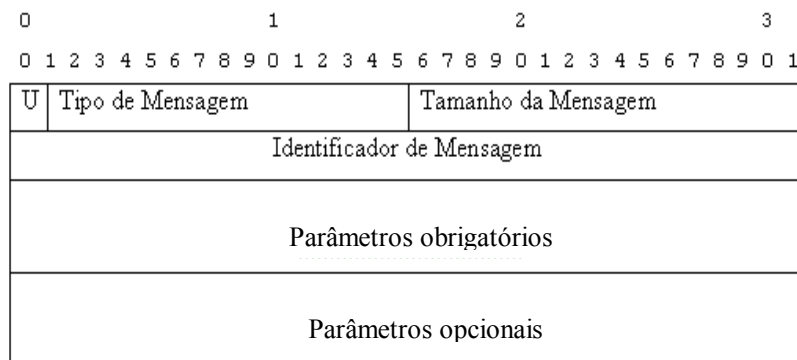


Figura 5. Formato da mensagem LDP.

Os campos da mensagem LDP são os seguintes:

- **Bit U**

Bit de mensagem desconhecida: Após a recepção de uma mensagem desconhecida, se U for igual zero ($U=0$), uma notificação é retornada para o originador da mensagem;

Se U for igual um ($U=1$), a mensagem desconhecida é simplesmente ignorada.

- **Tipo de Mensagem**

Identifica os tipos de mensagens.

- **Tamanho da Mensagem**

Especifica o tamanho cumulativo em octetos do identificador da Mensagem, parâmetros obrigatórios e Opcionais.

- **Identificador da Mensagem**

A mensagem é identificada por um valor de 32 bits. Usado pelo LSR emissor para facilitar a identificação das mensagens de notificação que pode ser aplicada a esta mensagem.

- **Parâmetros obrigatórios**

Tamanho variável atribuído a parâmetros de mensagens obrigatórias.

- **Parâmetros opcionais**

Tamanho variável atribuído a parâmetros de mensagens opcionais.

Por serem opcionais muitas mensagens não tem este parâmetro.

2.3.2 Troca de tabelas de rotas no MPLS

Todos os componentes na rede trocam informações de topologia. Estas informações são trocadas usando protocolos de roteamento IP como OSPF (*Open Shortest Path First*) [23] e BGP (*Border Gateway Protocol*).

Até este ponto os componentes do MPLS comportam-se como roteadores usuais, que estão trocando informações e construindo suas tabelas de rotas baseadas no alcance e outros fatores do destino da rede IP. Ver figura 6.

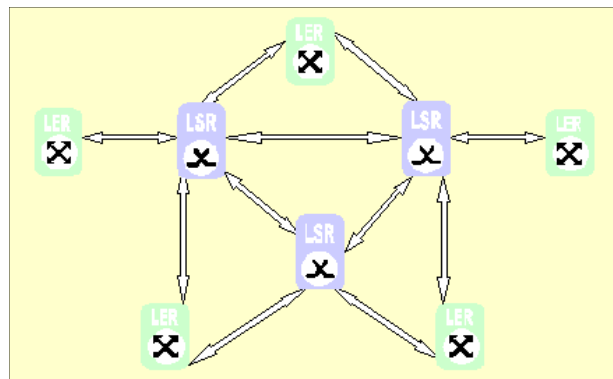


Figura 6 Troca de tabelas de rotas

Com base na informação de topologia que eles trocarem, os elementos da rede podem determinar a rota mais eficiente através da rede.

Caminhos comutados por rótulos LSPs (*Label Switched Paths*) são atribuídos através da rede. Estes LSPs são funcionalmente equivalentes a circuitos virtuais, como aqueles usados com ATM ou *Frame Relay*. Rótulos (ver seção 2.5 neste capítulo) são usados como identificadores de conexões com significado local, estes rótulos são funcionalmente equivalentes ao VPI/VCI dentro do ATM ou o DLCI dentro do *Frame Relay*. (ver seção 2.5.2 e 2.5.3 neste capítulo) O estabelecimento destes LSPs é chamado "atribuição de rótulo", funcionalmente equivalente à sinalização em ATM.

2.3.3 Funções do LER

O LER pega um pacote IP e faz uma análise completa na camada três deste pacote. Antes que decida simplesmente qual o próximo salto como um roteador normal faria, o LER decide qual o caminho de entrada através da rede que o pacote deverá pegar.

Tendo decidido qual caminho o pacote deverá pegar, o mesmo é enviado ao longo de um LSP. Um rótulo é fixado no pacote para identificar a qual LSP o pacote pertence. O rótulo é válido entre o LER e o primeiro LSR. O LER também chamado de LSR de borda (*Edge LSR*) situam-se na fronteira do domínio MPLS, e por isso tem também interfaces não MPLS, ou seja, por exemplo, interfaces Ethernet, portas seriais etc. Quando um pacote não rotulado destinado a entrar no domínio MPLS chega em uma interface não MPLS, o LER o designa a uma FEC e anexa o rótulo correspondente ao pacote. Por outro lado quando um pacote rotulado está para deixar o domínio MPLS o LER remove o rótulo do pacote e o encaminha usando o processo normal da camada três

2.3.4 Funções do LSR

Um LSR é essencialmente um simples órgão de *hardware* com uma tabela de consulta e uma fila de saída para cada porta.

O pacote que chega ao LSR contém um identificador de conexão (rótulo) o qual relaciona o pacote com um LSP particular. O comutador procura o rótulo na tabela de consulta e comuta o pacote para fila de saída apropriada, onde é fixado um novo rótulo para o destino do LSP à frente. Observando-se na figura 7 um pacote IP chega ao LER de origem, que por sua vez analisa o cabeçalho para verificar o endereço IP de destino, após verificação do endereço de destino o pacote é designado a uma FEC a qual é mapeada em um LSP, e um rótulo A é anexado ao pacote. Quando o pacote com o rótulo (A) chega ao LSR, o LSR usando o rótulo, consulta à tabela de comutação e encontra o rótulo e a interface de saída. Troca o rótulo (A), pelo rótulo (B). O pacote com o rotulo (B) ao chegar no próximo LSR executa o mesmo procedimento trocando o rótulo (B) pelo rótulo (C), que ao chegar ao LER de destino é analisado e tratado como um pacote IP normal, pois é tráfego terminado para este LER.

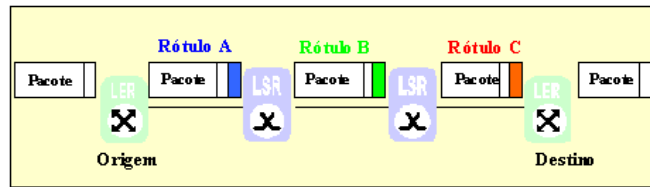


Figura 7 Funções do LER e do LSR

2.3.5 Encaminhamento em IP convencional e comutação por rótulo

Os benefícios da comutação por rótulo tornam-se aparentes quando comparada com o encaminhamento em IP convencional.

Os cabeçalhos dos pacotes TCP/IP contêm consideravelmente mais informação do que é necessário para simplesmente escolher o próximo passo para encaminhamento do pacote. No encaminhamento do pacote em IP convencional, o roteador sempre examina o cabeçalho de cada pacote a ele direcionado, e o encaminha à frente.

No MPLS, a função de enviar um pacote à frente é feita sem que seja necessário analisar o cabeçalho do pacote, é analisado somente o rótulo. As informações contidas no rótulo são suficientes para o envio do pacote até o próximo salto da rede, e este procedimento é feito até o pacote chegar ao LER de egresso, onde o cabeçalho do pacote será analisado como um pacote IP convencional. Tem-se então atraso na análise do cabeçalho do pacote somente quando ele está entrando (LER ingresso) ou saindo (LER egresso) do domínio MPLS. Durante o tempo que o pacote está sendo encaminhado pelos LSR a perda de tempo na análise do cabeçalho é praticamente nula, tornando o encaminhamento do pacote mais rápido.

2.3.6 Métodos de Distribuição de Rótulos

No MPLS, um LSR pode escolher a partir de dois métodos definidos para a proposta de distribuição de rótulos, o método *Downstream* Espontâneo onde o LSR distribui rótulos para LSRs que não as tenham solicitado explicitamente e *Downstream* sob Demanda onde um LSR faz uma requisição de rótulo a uma FEC particular explicitamente.

Downstream Espontâneo

Um LSR distribui uma amarração de rótulo para seus pares de distribuição de rótulos assim que tenha feito as mesmas. Isto é feito pela operação conhecida como *Downstream* espontâneo de distribuição de rótulos. Esta distribuição é feita mesmo que o LSR *Upstream* não a tenha solicitado explicitamente.

Downstream Sob Demanda

O segundo método requer que o LSR *Upstream* solicite explicitamente ao próximo LSR *Downstream* uma amarração de rótulo, para uma FEC particular, isto é conhecido como *Downstream* sob Demanda (*Downstream-on-Demand*). Neste modo de operação um LSR não pode distribuir amarrações de rótulos para LSR que não tenham solicitado explicitamente a ele.

Ambas as técnicas de distribuição de rótulos, citadas anteriormente podem ser usadas na mesma rede, ao mesmo tempo. Porém em qualquer adjacência de distribuição de rótulos, o LSR *Upstream* e o LSR *downstream* devem concordar sobre qual técnica será usada.

2.4 Codificação de Rótulos

O caminho pelo qual o rótulo é codificado em um pacote depende da tecnologia da camada dois utilizada. Algumas das tecnologias da camada dois existentes, já utilizam alguma forma de comutação de rótulo e tem um campo no cabeçalho do protocolo para acomodar o rótulo. ATM e *Frame Relay* são exemplos destas tecnologias. Se a tecnologia da camada dois não suporta um campo de rótulo, o rótulo MPLS é encapsulado em um cabeçalho padronizado que é inserido entre a camada dois e o cabeçalho da camada três (IP). O MPLS permite um pacote carregar mais que um rótulo, os quais são codificados na pilha de rótulo *Label Stack*. Entretanto o processo de rotular pacotes é completamente independente do nível de hierarquia, ele é sempre baseado no rótulo do topo da pilha de rótulos.

2.5 Tipos de Rótulos

O tipo de rótulo a ser usado pelo MPLS depende do tipo de tecnologia que está sendo utilizada para o envio do pacote rotulado.[8,12] Os tipos de rótulos para a tecnologia MPLS mais utilizados são: o encapsulamento genérico *Shim Header* para tecnologias da camada dois que não utilizam rótulos e rótulos ATM e *Frame Relay* que são atribuídos aos pacotes como visto na figura 8.

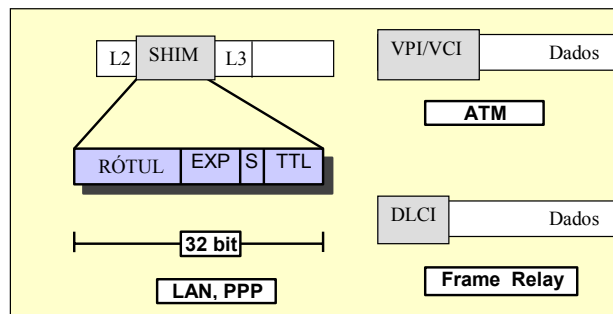


Figura 8 Tipos de Rótulos

2.5.1 Encapsulamento Genérico "Shim Header"

O encapsulamento genérico *Shim Header*. [8,12] é o rótulo padrão utilizado quando a tecnologia da camada dois não suporta um campo de rótulo, neste caso o rótulo é posicionado entre o dado da camada de enlace e o cabeçalho da camada de rede como pode ser visto nas figuras 8 e 9.

O encapsulamento é formado por:

- Um campo para o rótulo de 20 bits;
- Um campo Experimental de 3 bits (pode ser usado para mapeamento da classe de serviço (CoS));
- Um campo *Time to Live* (TTL), de 8 bits;
- Um campo de um bit (S) determina a posição do rótulo na pilha de rotulo (Ver seção 2.6 neste capítulo).

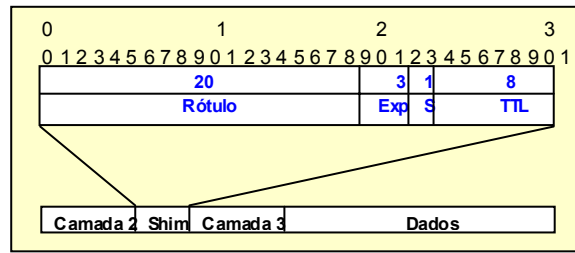


Figure 9 detalhes do rótulo para encapsulamento genérico *Shim Header*

2.5.2 Rótulo ATM

Implementando o MPLS como uma tecnologia de IP sobre ATM, o rótulo é carregado dentro do cabeçalho da célula ATM. Especificamente, o rótulo MPLS é o valor de VPI/VCI no ATM contido dentro do cabeçalho da célula.[11] Como os valores de VPI 0 com VCI de 0 a 32 são reservados para funções do ATM, estes valores não podem ser utilizados para codificação de rótulos MPLS [11].

Primeiramente os pacotes IP são encapsulados dentro da camada AAL5 e então segmentados em células para envio através da infra-estrutura ATM. Como o pacote foi segmentado em células, será atribuído um rótulo para cada célula, diferente do encapsulamento genérico onde o rótulo é atribuído uma única vez ao pacote.

Na Figura 10 é visto a posição do rótulo MPLS em células ATM.

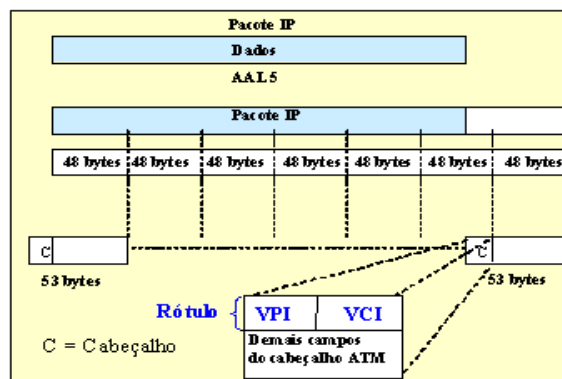


Figura 10 Rótulo ATM

2.5.3 Rótulo *Frame Relay*

Em *Frame Relay*, o rótulo é simplesmente codificado no campo *Data Link Connection Identifier* (DLCI) no cabeçalho da camada 2, como é visto na figura 11.

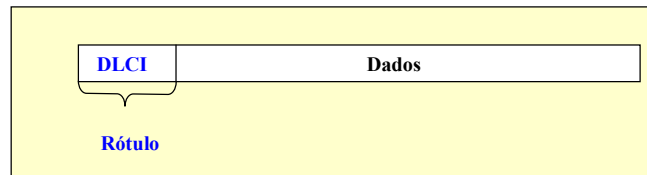


Figura 11 Posição do Rótulo MPLS no quadro *Frame Relay*

2.6 Pilha de Rótulo

O MPLS permite uma hierarquia de rótulos conhecida como pilha de rótulos *Label Stack* [8,12]. Isto torna possível criar uma LSP que gera um túnel a outra LSP através de uma certa parte da rede. Isto é conseguido atribuindo outro rótulo no topo do rótulo original, como pode ser visto na figura 12. Desde que o envio é sempre feito baseado no rótulo do topo, o rótulo original é carregado transparentemente através do túnel. No fim do túnel o rótulo do topo é retirado e lido fora da pilha de rótulos e mais adiante o envio é baseado novamente no rótulo original. A pilha de rótulo é representada como uma seqüência de entradas da pilha rótulos. Cada entrada da pilha de rótulos é representada por 4 octetos, Como visto na figura 9. A entrada da pilha de rótulos aparece entre o cabeçalho da camada de enlace e o cabeçalho da camada de rede. Cada entrada da pilha de rótulo é analisada nos seguintes campos:

a) Fundo da pilha (S)

Este bit é atribuído como um (1) para a última entrada na pilha de rótulo (isto é, para o fundo da pilha), e zero (0) para as demais entradas da pilha de rótulo.

b) Time to Live (TTL)

Este campo de oito bits é usado para codificar o valor *time-to-live*.

O processamento deste campo é descrito em [12].

c) Campo experimental (Exp) Classe de serviço (CoS)

Este campo de três bits é reservado para uso experimental, que pode ser usado como um campo para oferecer Classe de Serviço (CoS), neste caso carrega informações de classe de serviço, que afetam a fila e a tabela de policiamento.

d) Rótulo

Este campo de 20-bit carrega o valor atual do rótulo.

Quando um pacote rotulado é recebido, o valor do rótulo no topo da pilha é verificado. Com o resultado bem sucedido da verificação aprende-se:

- 1) O salto seguinte que o pacote deve dar;
- 2) A operação a ser executada na pilha de rótulo antes de enviá-lo;

Esta operação pode ser: substituir a entrada superior da pilha de rótulo por outra, ler e remover o último dado de uma entrada fora da pilha de rótulo, ou ainda substituir a entrada superior da pilha de rótulo e colocar então uma ou mais entradas adicionais na pilha de rótulo.

Além de aprender o salto seguinte e a operação da pilha de rótulo, pode se também aprender o encapsulamento que parte do enlace de dados, e principalmente informações que são necessárias para enviar corretamente o pacote adiante.

Existem diversos valores reservados de rótulo que podem ser vistos em. [12]

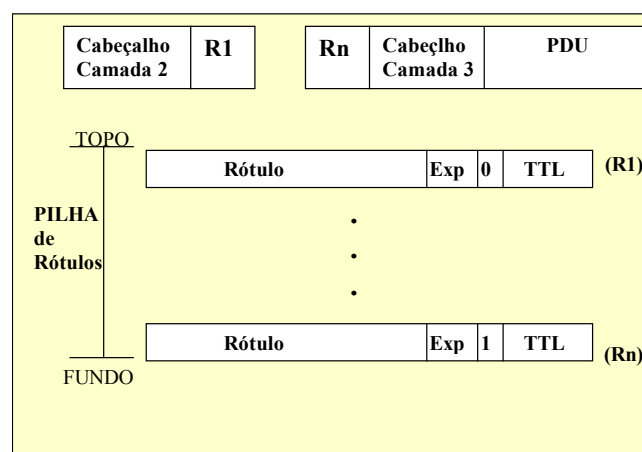


Figura 12 Exemplo de pilha de rótulos

2.7 Pares de Distribuição de Rótulos

A fim de habilitar a comutação por rótulos, um rótulo precisa ser atribuído a cada FEC identificada pelo LSR. Dois LSRs que utilizam um protocolo de distribuição de rótulo para a troca dos mesmo, ou seja, informação de atribuição de FEC, são conhecidos como pares de distribuição de rótulos *Label Distribution Peers* com relação às informações de atribuição que eles trocam. Se dois LSRs são pares de distribuição de rótulos, existe então uma chamada vizinhança de distribuição de rótulos "label distribution adjacency" entre eles.

2.8 Atribuição e Distribuição de Rótulos

A decisão de qual rótulo usar para identificar uma FEC particular (atribuição de rótulo) é sempre feita pelo LSRd *downstream* com relação à determinação de atribuição de rótulo é dito que os pacotes partem do nó *upstream* e chegam ao nó *downstream*. Isto não significa concluir que pacotes nessa FEC deveriam verdadeiramente ser roteados do nó *upstream* para o nó *downstream*, ou seja, o nó *downstream* não é necessariamente o próximo salto IGP para essa FEC. Uma vez feita a atribuição do rótulo pelo LSRd *downstream*, ele tem que informar o LSRu *upstream* da atribuição. Assim os rótulos são atribuídos *downstream*, e distribuídos na direção do *downstream* para o *upstream*.

2.9 Modo de Retenção de Rótulos

Um LSRu pode receber uma amarração de rótulo para uma determinada FEC de um LSRd, ainda que o LSRd não seja o próximo salto para o LSRu, ou não é mais o próximo LSRu para essa FEC.

O LSRu então tem que escolher se mantém tal amarração, ou se a descarta. Se o LSRu mantiver a amarração, então ele pode usá-la imediatamente, porém se o LSRu descartá-la, e se o LSRd eventualmente tornar-se o próximo passo para a FEC em questão, a amarração terá que ser novamente requerida.

Se um LSR opera no modo de retenção liberal, ele mantém a amarração entre um rótulo e uma FEC que são recebidas dos LSRs, os quais não são o próximo passo para aquela FEC. Se um LSR opera no modo de retenção de rótulos conservador, ele descarta tal

amarração. O modo de retenção de rótulos conservador solicita uma atribuição de rótulo para uma certa rota, somente ao LSR que ele conhece como o próximo salto para aquele destino.

O modo de retenção de rótulo liberal permite adaptação rápida para a troca de rotas, pois retém todas as associações de rótulos a ele encaminha de todos os LSRs *Downstream* para uma determinada rota, independente deste LSRs serem ou não o próximo salto para aquele destino.

Capítulo 3 Vantagens e desvantagens da Tecnologia MPLS

A tecnologia MPLS chega ao mercado com a tarefa de solucionar alguns problemas das redes IP tradicionais. Um dos problemas é a demora no envio de pacotes IP devido à análise feita no cabeçalho do pacote por cada roteador por onde o pacote passa. Com o MPLS esse problema não ocorre, pois ele não precisa examinar o cabeçalho do pacote IP, utilizando-se somente do rótulo para esse fim, ou seja, o endereço de destino do pacote IP não é examinado, o que o habilita a oferecer um mecanismo eficiente de encapsulamento de tráfego de dados privados, atravessando o *Backbone* de um provedor de serviço. Desta forma o MPLS mostra-se como uma excelente tecnologia de base para padrões de VPNs.

O MPLS otimiza os serviços que podem ser oferecidos pelas redes IPs, oferecendo o escopo de engenharia de tráfego, e facilitando a qualidade de serviço QoS. Como o MPLS suporta mecanismos de gerenciamento de tráfego, mecanismos eficientes do uso de roteamento explícito e de roteamento baseado em restrições, o mesmo pode oferecer uma base de sustentação eficiente aos novos serviços. Neste capítulo serão abordados de forma sucinta algumas vantagens do uso da tecnologia MPLS e comparações com outras tecnologias.

Este capítulo tem como objetivo principal formar uma base de conhecimento sobre as principais vantagens da tecnologia MPLS. O objetivo é comparar com os dados fornecidos pela pesquisa, delinear a perspectiva das empresas em relação a essa tecnologia, bem como, fornecer um caminho para novas pesquisas na área de relevância para as empresas. Uma tecnologia só será adotada pelo mercado e perdurará se forem sanados todos os principais problemas de concepção, e se atender as necessidades do mercado, ou seja, solucionando problemas que outras tecnologias existentes não supriram ou possibilitando novos serviços para o usuário final. Neste capítulo será apresentado também algumas desvantagens do MPLS e a expectativa das operadoras de serviço quanto à implementação da tecnologia MPLS em seus backbones. Atualmente, várias empresas no Brasil já têm disponível a tecnologia MPLS implementada, oferecendo um serviço mais personalizado aos seus clientes.

3.1 Engenharia de Tráfego

A Engenharia de Tráfego “Traffic Engineering (TE)” [18] está interessada na otimização da performance de operações de redes. Isto é, processo de controle de como flui o tráfego através de uma rede, bem como otimizar a utilização de recursos e performance da rede, ou seja um serviço de mapeamento do fluxo de tráfego dentro de uma topologia de redes existente.

O maior objetivo da Engenharia de Tráfego na Internet é facilitar forma segura e eficientemente a operação da rede, enquanto simultaneamente otimiza a utilização dos recursos da rede e desempenho de tráfego. A Engenharia de Tráfego tornou-se uma função indispensável em muitos sistemas autônomos de grande porte, devido ao alto custo dos recursos de rede e a natureza comercial e competitiva da Internet. Estes fatores enfatizam a necessidade pela máxima eficiência operacional.

"O MPLS pode ser utilizado das seguintes formas:

Como uma rede de transporte otimizada para carregar o tráfego IP fazendo uso do TE (Traffic Engineering), permitindo um roteamento mais eficiente quando comparado aos protocolos tradicionais de roteamento IP. Como resultado, o MPLS faz um melhor uso da banda enquanto mantém os níveis de serviços contratados pelos usuários".[13]

3.1.1 Deficiências do IGP

A capacidade de controle oferecida pelos IGP (*Interior Gateway protocols*) [23] existentes na Internet não são adequados para Engenharia de Tráfego. Isto torna difícil a realização do policiamento efetivo dos problemas de performance para os endereços da rede. Realmente IGP (*Interior Gateway protocols*) baseado no algoritmo de caminho mais curto contribui significativamente para problemas de congestionamento em sistemas autônomos dentro da Internet. O algoritmo SPF (*Shortest Path First*)" geralmente faz otimização baseada numa métrica aditiva simples. Estes protocolos são de topologia dirigida, assim a disponibilidade de largura de banda e características de tráfego não são fatores considerados na decisão de roteamento. Conseqüentemente, congestionamentos freqüentemente ocorrem quando o caminho mais curto do fluxo de múltiplos tráfegos converge num enlace específico ou interface do roteador, ou quando um dado fluxo de

tráfego é roteado através de um enlace ou interface do roteador o qual não tem largura de banda suficiente para acomodá-la. Estes cenários manifestam-se mesmo quando caminhos alternativos factíveis com excesso de capacidade existem, induzindo uma distribuição de carga desbalanceada na rede, como pode ser visto na figura 13.

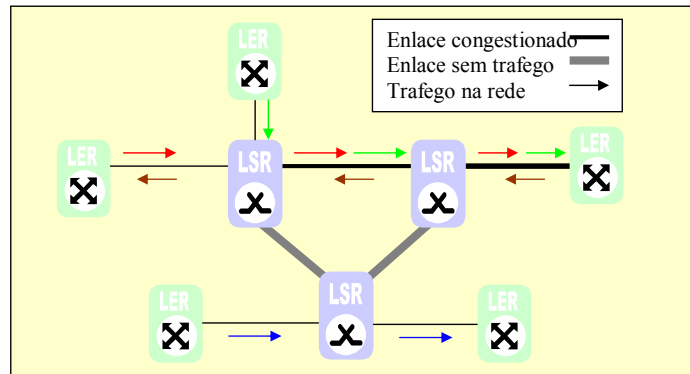


Figura 13 Exemplo de deficiências do IGP

3.1.2 Núcleo Base de Roteadores

No tradicional núcleo base de roteadores, a Engenharia de Tráfego é alcançada simplesmente manipulando as métricas do roteamento IGP. O controle baseado em métrica foi adequado até o momento porque os *backbones* da Internet até o momento eram muito menor em termo de número de roteadores, número de enlaces, e a soma do tráfego. Todavia era difícil assegurar que o ajuste da métrica em uma parte da imensa rede, não criaria um novo problema em outra parte da rede, assim um ajuste da métrica move tráfego agregado, porém, não bem definido no fluxo de tráfego.

3.1.3 Constraint-based routing (CR)

Roteamento baseado em restrição e detecção de congestionamento *Constraint-based routing* [26] são termos utilizados para descrever as redes que estão totalmente cientes de sua utilização atual, da sua capacidade existente e dos serviços fornecidos em todos os momentos. *Constraint-based routing* é um mecanismo que suporta as exigências da Engenharia de Tráfego definidas na RFC 2702, "Exigências para engenharia de tráfego sobre MPLS". Roteamento explícito é um subconjunto mais comum de roteamento

baseado em restrição onde restrição é a *Explicit Route* (ER). As restrições são definidas para proporcionar ao operador da rede um controle sobre o caminho tomado por um LSP.

3.1.4 CR-LDP

O MPLS aumenta as fontes de roteamento reutilizando certas técnicas em rede IP, que foram formalmente usadas em comutação por circuito. Isto permite um caminho escalável para tratamento de diversas exigências de transmissão encontradas na Internet. *Constraint-Based Routed Label Distribution Protocol* (CR-LDP)[25] é um simples, escalável, aberto e um protocolo não proprietário de sinalização de Engenharia de Tráfego para redes IP MPLS. CR-LDP prove mecanismos para estabelecimento de roteamento explícito de caminhos comutados por rótulo, conhecido como *Constraint-based Routed LSPs* (CR-LSPs). Estes mecanismos são definidos como extensão para o LDP especificamente projetado para facilitar roteamento baseado em restrições do LSP. Como o LDP usa sessão TCP entre os pares de LSR e envia mensagens de distribuição de rótulos ao longo da sessão, pode-se então compreender a distribuição confiável da mensagem de controle.

Na figura 14 é mostrado o fluxo básico para configuração LSP usando o CR-LDP.

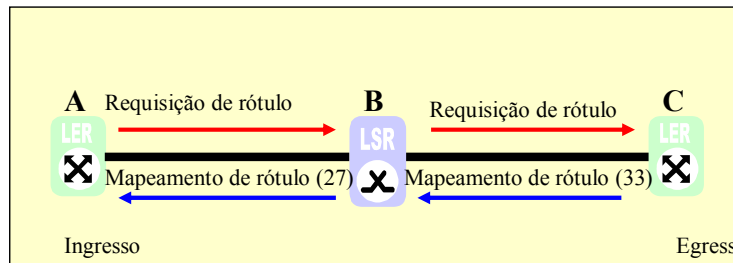


Figura 14 Fluxo básico para configuração LSP usando o CR-LDP

- O LER de ingresso, LER A, determina a necessidade de configurar de um novo LSP para o LER C de egresso. Os parâmetros de tráfego necessários para a sessão ou políticas administrativas para a rede habilitar o LER A a determinar qual rota para o novo LSP deveria tomar através do LSR B, o qual pode não ser o mesmo da rota *hop-by-hop* para o LER C. O LER A monta uma mensagem *LABEL_REQUEST* com uma rota explícita de (B, C) e detalhes dos parâmetros de tráfego necessários para a nova

rota. O LER A reserva os recursos necessários para o novo LSP, e então envia o *LABEL_REQUEST* para o LSR B na sessão TCP.

- LSR B recebe a mensagem *LABEL_REQUEST*, determina que não é egresso para este LSP, e envia a requisição ao longo da rota especificada na mensagem. Ele reserva os recursos requeridos para o novo LSP, modifica a rota explícita na mensagem *LABEL_REQUEST*, e passa a mensagem para o LER C. Se necessário, o LSR B pode reduzir a reserva que ele fez para o novo LSP se o parâmetro apropriado estivesse marcado como negociável no *LABEL_REQUEST*.
- O LER C determina que ele é egresso para o novo LSP. Executa algumas negociações finais nos recursos, e faz as reservas para o LSP. Aloca um rótulo para o novo LSP e distribui o rótulo para o LSR B em uma mensagem *LABEL_MAPPING*, a qual contém detalhes dos parâmetros de tráfego final reservados para o LSP.
- LSR B recebe a mensagem *LABEL_MAPPING* e a equipara com a requisição original usando o LSP ID contido em ambas mensagens *LABEL_REQUEST* e *LABEL_MAPPING*. Ele finaliza a reserva, aloca o rótulo para o LSP, configura a entrada da tabela de encaminhamento, e passa o novo rótulo para o LER A na mensagem *LABEL_MAPPING*.
- Processo no LER A é similar, mas ele não tem que alocar um rótulo e enviá-lo para um LSR "upstream" porque ele é o LER de ingresso para o novo LSP.

3.1.5 CR-LSP

Como alguns outros LSP, um LSP baseado em restrições *Constraint-Based LSP* (CR-LSP) é um caminho através de uma rede MPLS. A diferença é que enquanto outros caminhos são configurados baseados somente em informações de tabelas de roteamento ou de um sistema de gerenciamento, o roteamento baseado em restrição *Constraint-Based routing* é calculado em um ponto na borda da rede baseado em critérios, incluindo, mas não limitando às informações de roteamento. Essa funcionalidade concede características especiais e desejáveis para o LSP a fim de suportar melhor o tráfego enviado sobre o mesmo. A razão para configurar o CR-LSPs pode acontecer quando alguém queira atribuir certa largura de banda ou outras características de classe de serviço para o LSP, ou

quando alguém queira certificar-se que rotas alternativas usem caminhos separados fisicamente através da rede.

3.1.6 Capacidades do CR-LDP

O CR-LDP foi definido para a proposta específica de estabelecimento e manutenção do roteamento LSP explícito. Capacidades opcionais incluídas têm impacto mínimo na performance e necessidade do sistema quando não em uso para um específico roteamento LSP explícito. Habilidades opcionais providas para negociação dos serviços LSP e parâmetros de gerenciamento de tráfego em cima da transferência de pacotes de melhor esforço, incluindo alocação de banda, configuração e manuseio de prioridades.

CR-LDP opcionalmente permite que estes parâmetros sejam dinamicamente modificados sem interrupção da operação LSP.

CR-LDP permite a especificação da configuração de parâmetros para ser sinalizado junto com a requisição de configuração LSP. Além disso, a rede pode ser suprida com uma configuração das funções de condicionamento de tráfego de borda (o qual pode incluir marcação, métrica, *policing* e *shaping*). Esta configuração de parâmetros paralelo com a especificação da função de condicionamento de borda pode ser mostrada apropriadamente para descrever características e parametrização de uma vasta variedade de qualidade de serviço (QoS), descrição de serviço incluindo serviços diferenciado IP, serviço Integrado, classes de serviços ATM, e *Frame Relay*.

3.1.7 RSVP

RSVP usa troca de mensagem para reservar recursos através de uma rede para fluxos IP. A extensão do RSVP para túneis LSP aumenta o RSVP para que ele possa ser usado para distribuir rótulos MPLS.

O RSVP é um protocolo separado do nível IP. Ele usa datagrama IP (ou UDP nas margens da rede) para comunicar-se entre pares de LSRs. Ele não exige a manutenção da sessão TCP, mas como uma consequência disto ele deve lidar com perda de mensagens de controle.

O fluxo básico para configuração de um LSP usando RSVP para túneis LSP é mostrado na figura 15.

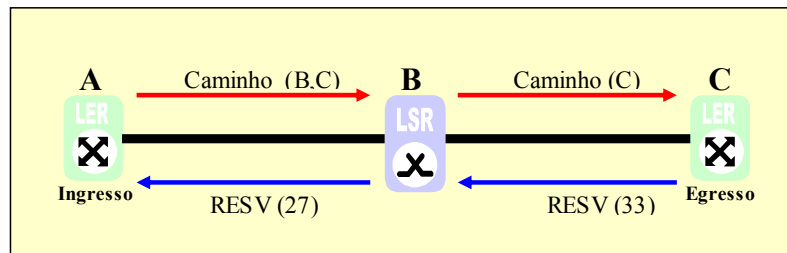


Figura 15 Fluxo básico para configuração de um LSP usando RSVP para túneis LSP.

- O LER de ingresso, LER A, determina a necessidade de configurar um novo LSP para o LER C de egresso. Os parâmetros de tráfego necessários para a sessão ou políticas administrativas para a rede habilitar o LSR A para determinar qual rota que o novo LSP deveria tomar através do LSR B, o qual pode não ser a mesma da rota "hop-by-hop" para o LER C. O LSR A monta uma mensagem de caminho "path" com uma rota explícita de (B, C) e detalhes dos parâmetros de tráfego necessários para a nova rota. O LER então envia o caminho "Path" para o LSR B como um datagrama IP.
- LSR B recebe a requisição de caminho, determina que ele não é o egresso para este LSP e encaminha a requisição ao longo da rota especificada na requisição. Ele modifica a rota explícita na mensagem do Caminho "Path" e passa a Mensagem ao LER C.
- LER C determina que ele é o egresso para este novo LSP, determina a partir dos parâmetros de requisição de tráfego qual largura de banda ele precisa reservar e alocar os recursos necessários. Ele seleciona o rótulo para o novo LSP e o distribui para o LSR B na mensagem RESV, a qual contém detalhes atuais da necessidade de reserva para o LSP.
- O LSR B recebe a mensagem RESV e a equipara com a requisição original usando o LSP ID contido em ambas mensagens, caminho "Path" e RESV. Ele determina quais os recursos reservar dos detalhes na mensagem RESV, aloca um rótulo para o LSP, configura a tabela de encaminhamento, e passa o novo rótulo para o LER A na mensagem RESV.

- Processo no LER A é similar, mas ele não tem que alocar um rótulo e enviá-lo para um LSR "upstream" porque ele é o LER de ingresso para o novo LSP.

3.1.8 Roteamento Explícito

Um roteamento explícito é representado como uma lista de nós ou grupos de nós ao longo da base limite de roteamento. Quando o CR-LSP é estabelecido, todas ou uma sub-rede de nós no grupo, pode ser conduzida através do LSP. Certas ações são efetuadas ao longo do caminho podendo, também, ser codificada na base limite de roteamento.

Existe um número de razões para que se queira utilizar roteamento explícito em vez do roteamento *hop by hop*. Por exemplo, ele permite roteamento baseado em políticas administrativas, e permite rotas que o LSP pega para ser cuidadosamente projetadas a fim de permitir Engenharia de Tráfego.

3.2 Qualidade de Serviço no MPLS

A Internet atualmente provê somente serviços de melhor esforço. O tráfego é processado o mais rápido possível, mas não existe garantia de entrega com relação a atraso, ordem de chegada ou até mesmo entrega do pacote ao seu destino.

"Tal modelo, retira do núcleo da rede qualquer forma de inteligência no encaminhamento do tráfego. Embora amplamente usado, ele é ineficiente para suportar os requisitos diversificados das novas aplicações comerciais e multimídia, que geram tráfego integrado de dados, voz e vídeo". [20]

Com a rápida transformação da Internet dentro de uma infra-estrutura comercial, as demandas por serviços de qualidade têm aumentado a cada dia.

O MPLS pode classificar uma rota sobre diversos fatores, como largura de banda disponível, taxa de perda de pacotes, tráfego na rede, etc [24]. Tal política baseada em restrições não é encontrada na grande maioria dos roteadores IP, pois os mesmos se baseiam na política de menor caminho. Com as características citadas, o MPLS pode fazer classificação de fluxo, realizar divisão das classes de serviço e ainda utilizar rótulos diferentes para representar fluxos com prioridades diferentes. Tal abordagem pode-se considerar como uma forma de prover diferenciação de serviços [24].

3.2.1 Serviços Diferenciados (DiffServ)

Em resposta a demanda por um robusto, escalonável e comum sistema para classificação de serviço, o IETF definiu um mecanismo de serviço diferenciado (Diffserv, conhecido também como DS) [21]. O Diffserv identifica o tráfego agregado que tem que ser tratado no mesmo caminho e provê relativos serviços diferenciados para estes tráfegos agregados. Isto significa que os serviços não são oferecidos para um fluxo individual (ou aplicação), mas para fluxos agregados que tem os mesmos requisitos de serviço.

3.2.2 O Conceito do DiffServ

O coração do conceito Diffserv [20,21] é um atributo do gerenciamento de buffer e mecanismo de relação pacotes, o qual é implementado em cada roteador e os habilita a realizar serviço diferenciado por salto entre classes de tráfego.

As solicitações das redes DiffServ gerenciam a criação de redes policiadas, o que define o nível de serviço suportado e regras de encaminhamento. Estas são conhecidas como especificações de níveis de serviço SLS (*Service Level Specification*) e abrangem a especificação de condicionamento de tráfego TCS (*Traffic Conditioning Specification*). O TCS especifica o montante de tráfego permitido na classe de serviço. O tráfego na rede pode então ser categorizado dentro de classes baseadas nas definições de policiamento da rede. No domínio DiffServ todo pacote IP cruzando um enlace e requerendo o mesmo tratamento de envio Diffserv são citados para estabelecerem um comportamento agregado BA (*Behaviour aggregate*). Na borda da rede, os pacotes são classificados, policiados e possivelmente formados de acordo com o SLSs. O classificador marca o pacote com a classe que lhe pertence, deste modo habilitando os demais roteadores na rede a tratar o pacote de acordo com a prioridade atribuída para a classe do pacote. Os roteadores na rede podem fazer tomar a decisão de atrasar/descartar pacotes com baixa classe de prioridade a fim de garantir o encaminhamento de pacotes com alta classe de prioridade.

3.2.3 Comparação entre MPLS e DiffServ

Comparando a arquitetura de um domínio MPLS e um domínio de um serviço diferenciado, a primeira vista, pode-se encontrar algumas similaridades como visto na tabela 3 abaixo.

MPLS	DiffServ
<p>Em um domínio MPLS, quando um longo fluxo de dados passa em um caminho comum, um LSP pode ser estabelecido usando protocolo de sinalização MPLS. No LER de ingresso, a cada pacote é atribuído um rótulo e é transmitido "Downstream".</p>	<p>No domínio de serviço diferenciado, todo pacote IP cruzando um enlace é requerido o mesmo comportamento DiffServ são dito que constituem um comportamento agregado. No nó de ingresso do domínio DiffServ os pacotes são classificados e marcados com um DSCP (<i>DiffServ Code Point</i>), o qual corresponde a seus comportamento agregado.</p>
<p>Em cada LSR ao longo do LSP, o rótulo é usado para encaminhar o pacote ao próximo salto.</p>	<p>Em cada nó trânsito, o DSCP é usado para selecionar o PHB (<i>Per Hop Behaviour</i>) que determina a tabela de tratamento e, em alguns casos a probabilidade de distribuição para cada pacote.</p>

Tabela 3 Comparação entre MPLS e DiffeServ

Pode-se concluir que arquiteturalmente o MPLS e Serviço Diferenciado (DiffServ) são semelhantes em alguns aspectos, além disso, o MPLS facilita a implementação do DuffeServ, pois dá ao IP a característica de orientado a conexão.

3.2.4 *Serviços Integrados*

O modelo de serviços integrados "IntServ"[24,34] trabalha com reserva de recursos, ou seja, antes de iniciar a troca de dados, o emissor solicita ao receptor a reserva dos recursos necessárias para definir-se a melhor qualidade na transmissão dos dados. O protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*) [24,34] é utilizado, pelo "Intserv", para troca de mensagens de controle de alocação dos recursos. A alocação de recursos diz respeito à largura de banda reservada e ao tempo que a mesma será mantida para a conexão. Durante este período de tempo, o emissor do serviço tem uma faixa da largura de banda disponível para a transmissão dos dados.

"A qualidade de serviço (QoS) na arquitetura IntServ é garantida através de mecanismos de reserva de recursos na rede."[34]

3.3 Rede Virtual Privada (VPN)

A Rede virtual Privada "Virtual Private Networks" (VPN) [13,29] simula a operação de uma rede privada de área vasta "Wide Area Network (WAN)" [29] sobre uma rede pública como a Internet.

A operação de uma VPN é governada por um atributo de políticas administrativas definidas pelo cliente VPN. Entretanto a implementação destas políticas é em grande

parte de responsabilidade do provedor do serviço. A política administrativa da VPN determina a topologia virtual da rede, que é a designação dos locais (sites) que são permitidos comunicarem-se entre si. Além da conectividade, a política pode também definir exigências de QoS que a VPN deve satisfazer.

Para oferecer um serviço VPN viável para os clientes, o provedor de serviço deve resolver os problemas de privacidade de dados e suportar o uso de mais de um endereço IP privado dentro da VPN.

As redes virtuais, ao utilizar o MPLS, provêm algumas vantagens do modelo baseado em circuitos virtuais permanentes (PVC) Uma delas é a possibilidade que os clientes tem de escolher seus próprios planos de endereçamento, que podem ou não sobrepor os de outros clientes, ou do provedor de serviços [29].

3.3.1 Blocos da Estrutura VPN

As VPNs são tipicamente construídas usando quatro blocos da estrutura fundamental:

- **Firewalls** para proteger cada site de cliente e prover uma interface segura para Internet.
- **Autenticação** para propiciar que cada site de cliente troque dados com sites remotos validados.
- **Encriptação** para proteger os dados transportados através da Internet de investigação ou manipulação de usuários que não pertencem a VPN.
- **Tunelamento** encapsulamento para prover um serviço de transporte de multiprotocolo e habilitar o uso do espaço privado do endereço IP dentro da VPN.

3.4 Desvantagens do MPLS em Backbones

Um dos desafios do MPLS para os próximos anos não está relacionado diretamente com a tecnologia, mas sim com a falta de mão de obra qualificada no mercado para aproveitar todo seu potencial. Este fato é facilmente assimilado, pois um

especialista em MPLS não poderá apenas estudar a tecnologia e sim todo o ambiente onde a mesma será implantada. O especialista em MPLS terá que ter bons conhecimentos de toda a estrutura onde o mesmo pode operar, por exemplo, conhecimentos de Frame Relay, ATM, BGP, Engenharia de Tráfego, QoS, etc. Este fato pode ser considerado como uma desvantagem do MPLS, pois as operadoras terão que fazer um bom investimento em treinamento de pessoal, para tirar o Máximo proveito da tecnologia.

Outro ponto que pode ser considerado desvantagem é que o MPLS não é uma tecnologia fim a fim como o IP, ou seja, ela começa a atuar somente após o primeiro LER, o que a torna uma tecnologia de uso restrito a backbones, porém este fato é uma característica do MPLS atual, mas com a evolução ele pode chegar ao cliente final.

Existe também um problema de performance levantado por um grupo de estudo do projeto UCER [41]. Através de teste em ambientes com e sem MPLS detectou-se que o desempenho tanto com o MPLS quanto com o IP tiveram praticamente o mesmo desempenho relativo à comparação: atraso por pacote, variação no atraso (*jitter*), vazão e perdas de pacotes, os testes foram feitos em um ambiente com roteadores Linux e revelam que para alguns casos de tráfego a tecnologia IP se mostrou mais eficiente que a MPLS, porém este fato ainda tem que ser comprovado em um ambiente de teste real.

3.5 Testes de Interoperabilidade realizados com MPLS

Atualmente várias empresas estão fazendo testes de interoperabilidade com equipamentos que suportam a tecnologia MPLS sob a supervisão de laboratórios independentes, como pode ser visto em alguns artigos publicados na mídia especializada.

"Um dos objetivos da Isocore, obtido através do seu Internetworking Laboratory, é avançar a tecnologia de Internetworking na área de MPLS (Multi-Protocol Label Switching). O atual esforço inclui a interoperabilidade entre os principais fornecedores de equipamentos para conexão de rede. Este trabalho é suportado pelas principais provedoras de serviço na Internet, bem como pelas provedoras de equipamentos de conexão de rede e teste".[36]

"Testes realizados por organizações independentes confirmam que o MPLS é tão seguro quanto o Frame Relay e o ATM. Além disso, a tecnologia traz um maior grau de segurança para as redes que concentram várias camadas de equipamentos, permitindo operar com IP diretamente sobre SDH/SONET ou serviços de comprimento de onda fornecidos por redes ópticas DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), através da criação de LSPs (Label Switching Paths) na camada 3, semelhantes aos circuitos virtuais da camada 2."[13]

O MPLS Fórum também gerenciou testes com 21 fornecedores na Califórnia (EUA), como pode ser visto no artigo abaixo.

"Um grupo formado por 21 empresas fornecedoras de equipamentos de infra-estrutura para telecomunicações, entre elas Lucent, Juniper, Marconi, Extreme Networks e Agilent, anunciou hoje, 5, os resultados dos testes de interoperabilidade do protocolo MPLS (Multiprotocol Label Switching)."[37]

Esses testes são necessários para as operadoras avaliarem os benefícios que a nova tecnologia traz para seus backbones, bem como verificar as dificuldades e/ou facilidades de integração, e com isso, formarem redes com múltiplos fornecedores o que torna o mercado mais competitivo. Como o MPLS é uma tecnologia aberta, os fabricantes não devem enfrentar muitos problemas de interoperabilidades entre eles, porém eles ocorrem e estes testes são laboratórios para saná-los antes de uma implantação.

3.6 Empresas que utilizam a tecnologia MPLS

A cada dia os backbones são mais exigidos em relação ao escoamento de tráfego e o fornecimento de garantias de serviço devido ao aumento do número de usuários da Internet e da quantidade de redes privadas virtuais (VPN). Além disso, novos serviços estão exigindo não só uma maior largura de banda, mas também necessitam de serviços garantidos como é o caso de VoIP [4, 5, 6, 15] e de transmissões de vídeo em tempo-real. Para suprir essa necessidade, várias operadoras como a Equant, Intelig, Embratel, Global Village Telecom (GVT) e Companhia Telefônica Paulista (CTP), estão usando a tecnologia MPLS. Algumas empresas estão usando o MPLS, visando a convergência de

mídias e voz sobre IP, por exemplo, no artigo publicado em Julho pela revista Teletime intitulado “Equant enxuga e aposta na convergência” se pode ver isso.

"A Equant provê transmissão de dados. A linha IP VPN, que roda em Multiprotocol Label Switching (MPLS), está no centro da família de produtos da nova empresa. O principal apelo da solução é fornecer uma plataforma para convergência de mídias e voz sobre IP e viabilizar acesso universal aos recursos de rede para usuários fixos e móveis."
[27]

Outro artigo *"Campeões de audiência em telecom"* publicado pela Computerworld 25/07/2002 enfatiza os serviços mais vendidos pelas operadoras e comenta a utilização do MPLS pela Embratel e Intelig.

"Uma rede virtual pode ser MPLS (Multiprotocol Label Switching), em ambiente IP. Neste caso, a infra-estrutura oferece mais recursos de segurança e confiabilidade para a transmissão de pacotes – Embratel e Intelig trabalham essa modalidade. A prestadora que ainda não possui a oferta de MPLS baseia seus serviços em IP, em redes Frame Relay ou ATM." [28]

No artigo da revista worldtelecom de outubro de 2001[31] é comentado que a Global Village Telecom (GVT) e Companhia Telefônica Paulista (CTP) também estão investindo na tecnologia MPLS.

Atualmente no Brasil já são abertas licitações para contratação de serviço com a tecnologia MPLS, como pode ser visto no artigo da CISCO "História de sucesso" onde a Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB) abre uma contratação deste tipo de serviço.

"Foram convidadas a participar da concorrência para fornecer o Serviço de Comunicação IP Multiserviço com tecnologia MPLS/VPN/BGP as concessionárias AT&T, Impsat, Intelig, Brasil Telecom, Telemar, Telefônica, RTM, Embratel, Metrored e Intercom. As escolhidas foram a AT&T e o consórcio Embratel/RTM".[32]

3.7 Perspectivas de tráfego na Internet brasileira.

Como pode ser visto na figura 16, a evolução do número de usuários na Internet teve um aumento de praticamente três vezes no período entre 1999 e 2001. Tem-se uma perspectiva de grande crescimento para os próximos anos, chegando a 2006 com uma estimativa de 51.069.300 usuários na Internet no Brasil. Levando-se em conta o aumento

do número de usuários e considerando-se que os serviços estão consumindo uma maior largura de banda a cada dia, devido às novas facilidades que são inseridas, pode-se concluir que o tráfego nas redes também terá um grande acréscimo. Tornando-se necessário o uso de novas tecnologias para que se tenha um melhor aproveitamento e otimização da banda disponível na rede.

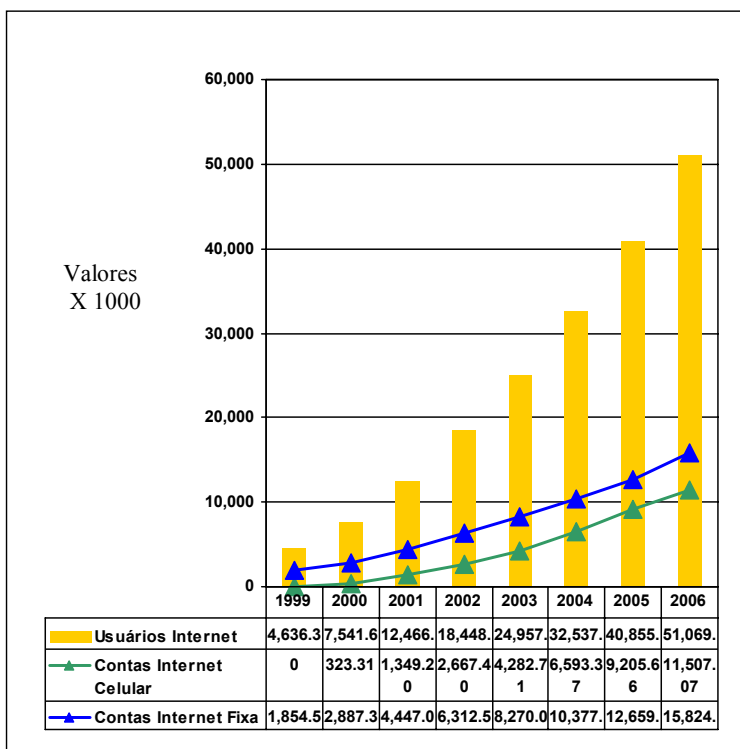


Figura 16. Perspectivas de usuários na Internet brasileira. [40]

3.8 Conclusão

Neste capítulo foram demonstrados as principais vantagens no uso da tecnologia MPLS. Sobre as tecnologias existentes abordou-se vários pontos fortes da tecnologia MPLS como seu emprego na engenharia de tráfego, capacidade de suprir as deficiências do IGP. Foi também demonstrando a facilidade de prover qualidade de serviço com MPLS. Essas duas características são de grande interesse para o mercado, pois com as mesmas o MPLS proporciona uma vantagem para as provedoras de serviço, que seria manter a atual estrutura de hardware, mudando apenas o software dos equipamentos do backbones. Aumentando assim a capacidade de escoamento do tráfego do *backbone* através da engenharia de tráfego, bem como com a possibilidade de fornecer serviços com

qualidade garantidas através da capacidade do MPLS de facilitar QoS através de sua característica de fornecer orientação a conexão.

Há uma evidente agitação no mercado causada pelo MPLS, pois apesar das deficiências apresentadas, o mesmo nasceu com o propósito de sanar alguns problemas do protocolo IP. Este fato já seria suficiente para causar tal agitação entre os provedores de serviço, pois o IP é o principal protocolo usado na Internet que vem crescendo exponencialmente, mas, além disso, há as facilidades oferecidas pela tecnologia MPLS para QoS, VPN e Engenharia de Tráfego, que podem ser providas sobre qualquer tecnologia da camada 2. O MPLS desta maneira oferece ao protocolo IP qualidades que até então ele não possuía, ou era deficiente. Tais qualificações colocam o MPLS como uma ferramenta muito útil ao controle e otimização de backbones. Motivos esses que o colocam como a tecnologia do momento procurada pelos provedores de serviço Internet.

O MPLS deve ser considerado como um facilitador de encaminhamento de pacotes que faz uso de protocolos de roteamento já consagrados pelo IP. No entanto, ele não deve ser considerado como a solução para todos os problemas da Internet, pelo menos neste primeiro instante, pois com o avanço das pesquisas nesta área o MPLS tende a cada dia dar um novo passo para que num futuro próximo tenhamos uma nova geração de redes, que atendam a quase todas as necessidades de comunicação dos seres humanos, contribuindo assim para um mundo onde a distância entra as pessoas seja amenizada com apenas um *click* em um navegador.

Capítulo 4 Uso da Tecnologia MPLS em Backbones Nacionais

Com o intuito de atingir o objetivo da dissertação que é verificar a viabilidade da tecnologia MPLS para os backbones no Brasil, foi realizada uma pesquisa com pessoas ligadas a provedoras de serviço, fornecedores de equipamentos. Os dados coletados nesta pesquisa foram obtidos através do envio de 30 e-mails com um questionário, para pessoas da área de cada empresas. Destes 30 questionários enviados somente 12 responderam a pesquisa. A grande falta de adesão a essa pesquisa se deve ao fato do MPLS ser um assunto ainda novo para a grande maioria das pessoas, mesmo dentro da área de redes das empresas. No entanto, os dados obtidos das pesquisas que foram respondidas foram suficientes para se realizar o estudo da tecnologia MPLS no mercado Brasileiro [42].

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na Pesquisa. Em seguida, ele apresenta os resultados da pesquisa. A mesma esta dividida em três partes, a primeira parte, “Parte I Geral”, foi respondida por todos os pesquisados a segunda parte, “parte II empresas provedoras de serviços”, que foram respondidas apenas pelos pelo pessoal das empresas provedoras de serviço. Fechando com a “parte III fornecedores de equipamentos de rede”, respondida por pessoas que trabalham em empresas que fornecem equipamentos de redes e fabricantes.

Como forma de manter o sigilo da pesquisa adotou-se os seguintes critérios para identificar os comentários feitos. PSx para empresas provedoras de serviço e FEy para fornecedores de equipamentos, desta forma pretende-se que este trabalho não venha prejudica nenhum funcionário das empresas que colaboraram com a pesquisa.

4.1 Procedimentos Metodológicos

Indicar que existem diversas formas de realizar a pesquisa. Citar algumas formas, incluindo a pesquisa tipo exploratória analítica e quantitativa. A opção da pesquisa do tipo exploratória analítica e qualitativa, através do envio de e-mail acompanhada de um questionário de perguntas semi-abertas, deu-se pela necessidade de obter-se informações referentes ao efetivo uso da nova tecnologia no setor de telecomunicações no Brasil.

A pesquisa foi elaborada com base na fundamentação teórica, através de um questionário com 25 perguntas que orientam o presente estudo. Para a execução e levantamento dos dados de campo, foram levados em conta, o efetivo uso da nova tecnologia, as facilidades e os serviços que ela disponibiliza para as empresas.

4.1.1 Descrição básica da pesquisa

Na seleção das empresas entrevistadas levou-se em conta a informação sobre a potencialidade das empresas em trabalhar com esta tecnologia, bem como se procurou direcionar os questionários para as pessoas familiarizadas e envolvidas com o MPLS dentro de cada empresa. Os critérios de competência foram definidos em função da participação dos profissionais no processo e ou no estudo de implementação do mesmo, onde ambos tem possibilidade de contribuir com informações da tecnologia.

4.1.2 Perguntas da pesquisa

O questionário é composto de 25 perguntas dividido em três partes: a primeira, parte geral, é destinada a todos os pesquisados, compreende as questões de 1 a 4. A segunda parte destina-se as empresas provedoras de serviço e engloba as questões de 5 a 17. As demais questões de 18 a 25 destinam-se a empresas fornecedoras de equipamentos. Segue lista das questões.

- 1) Você conhece a tecnologia MPLS (*MultiProtocol Label Switching*)?
- 2) Quais são as vantagens do uso desta tecnologia do ponto de vista de uma provedora de serviço?
- 3) Quais são as vantagens do uso desta tecnologia do ponto de vista do atendimento dos requisitos dos clientes de uma provedora de serviço?
- 4) Do seu conhecimento, existe alguma desvantagem no uso desta tecnologia?
- 5) Quais são os serviços oferecidos por sua empresa?
- 6) A sua organização utiliza ou está em fase de testes do uso da tecnologia MPLS?
- 7) Caso afirmativo, assinale quais razões da adoção do MPLS.
- 8) Caso afirmativo, em que fase de implantação a sua organização está?

- 9) Caso tenham sido realizados testes, foi encontrada alguma divergência entre a parte prática e a parte teórica quanto às vantagens do uso da tecnologia MPLS?
- 10) Os resultados obtidos com o uso do MPLS na rede são satisfatórios, tratando-se de:?
- 11) Houve ou há muitas dificuldades para implantar o MPLS em sua rede?
- 12) Dentre os serviços oferecidos pelo MPLS qual é ou será o mais utilizado em sua empresa?
- 13) Sua empresa pretende expandir o domínio MPLS por todo o backbone?
- 14) Caso a sua organização não use esta tecnologia, quais são as perspectivas de implantação do MPLS?
- 15) Os equipamentos adotados para fornecer MPLS em sua rede facilitam a configuração das facilidades que o MPLS fornece?
- 16) Sua empresa tem ou pretende utilizar o MPLS como uma ferramenta para as redes convergentes NGN (Next Generation Network)?
- 17) Na sua opinião o custo benefício que a tecnologia MPLS traz à rede levará o mercado a implantá-la em larga escala?
- 18) Quais das tecnologias abaixo são oferecidos por sua empresa ?
- 19) A sua organização oferece equipamentos com a tecnologia MPLS?
- 20) Caso afirmativo, assinale quais serviço oferecidos pelo MPLS são mais procurados.
- 21) Caso afirmativo como esta sendo a aceitação do mercado
- 22) Sua empresa já realizou testes de compatibilidade da tecnologia MPLS com outros fabricantes?
- 23) Caso afirmativo, houve algum problema?
- 24) Sua empresa tem ou pretende utilizar o MPLS como uma ferramenta para as redes convergentes NGN (Next Generation Network)?
- 25) Na sua opinião o custo benefício que a tecnologia MPLS traz à rede levará o mercado a implantá-la em larga escala?

4.1.3 População

A população para o presente estudo são as empresas prestadoras de serviço de telecomunicações e fornecedores de equipamentos. A mesma totalizou um universo de 30 empresas no setor de telecomunicações.

4.1.4 Amostra

A amostra selecionada foi o total da população, 30 empresas, mas como a pesquisa foi feita através de e-mail não se teve um controle total da pesquisa. A amostra obtida foi de 12 empresas, porém foi suficiente, atendendo-se as exigências do plano de amostragem atingindo 40% da população, quando 10% já seriam suficientes para atender o plano de amostragem [42].

4.2 Parte I. Geral.

4.2.1 Questão 1

Você conhece a tecnologia MPLS (MultiProtocol Label Switching)?

A - Sim, tenho conhecimento aprofundado sobre esta tecnologia;

B - Sim, estou iniciando os estudos;

C - Não; mas já ouvi falar;

D - Não, e não sei do que se trata;

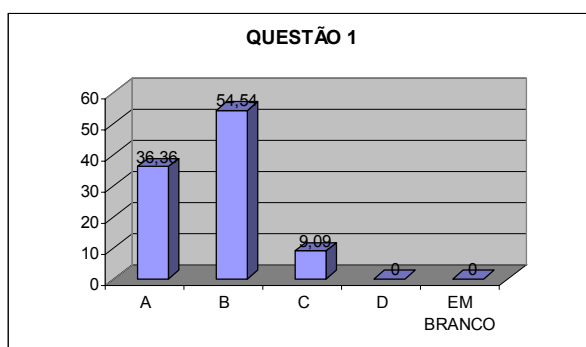


Gráfico 1 - Questão 1

O objetivo desta questão foi observar em que ponto está o conhecimento das pessoas pesquisadas, para se ter uma idéia do aproveitamento da pesquisa. Como se pode

ver 36,36% dos pesquisados assumem que tem conhecimentos aprofundados do assunto, 54,54 % se enquadram dentre as pessoas que estão estudando o assunto, 9,09% admitem que tem pouco conhecimento, porem tivemos 0% de pessoas que não sabiam do que se tratava, isso porque todos os que não tinham conhecimento do assunto se negaram a responder a pesquisa. Demosntrando assim o elevado nível da pesquisa.

Esses índices estão dentro do esperado, uma vez que a pesquisa foi dirigida a pessoas que trabalham nesta área.

4.2.2 Questão 2

Quais são as vantagens do uso desta tecnologia do ponto de vista de uma provedora de serviço?

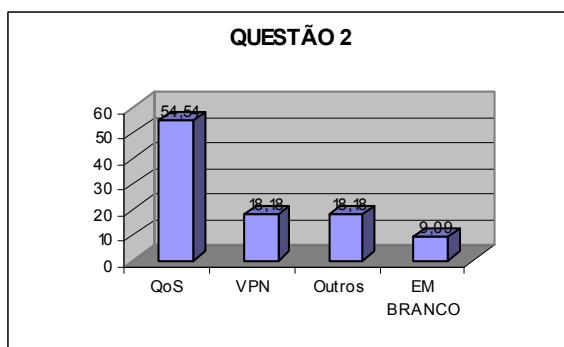


Gráfico 2 - Questão 2

Essa questão é bastante importante, no intuito de avaliar as vantagens que a tecnologia MPLS trará para uma provedora de serviço na visão de todos os pesquisados. O fato de ela ser uma questão discursiva levou a uma série de comentários que foram resumidos no gráfico 2. Como pode ser observado o QoS vem em primeiro lugar com 54,54% das opiniões, porem o VPN apesar de ter apenas 18,18% deve ser considerado, pois tal informação foi dada por pessoas de empresas que já tem o MPLS em funcionamento na rede. Tivemos 18,18% de outros valores que serão colocados a seguir juntos com outros comentários julgados importantes.

Serviços com QoS e redes virtuais privadas (VPN), são serviços que vem ganhando espaço no mercado dia após dia. O fato do MPLS atender a esses serviços o coloca em posição de destaque junto as provedoras de serviço. Muitos dos usuários de *Frame Relay* terão vantagens de preço, sem perder em segurança e desempenho ao migrarem suas redes para uma rede VPN.

Garantia de oferecimento de qualidade de serviço (QoS) e baixo custo de implementação já que os equipamentos apenas necessitam de atualização de software. Ainda, oferecem convergência de serviços para rede IP”. [FE1].

Integração dos serviços em uma mesma plataforma”. [PS2]

Do ponto de vista de uma provedora de serviço que já possui um backbone privado, por exemplo. frame relay, não vejo vantagem a não ser atender a um requisito de mercado. Os backbone privados permitem VPN's, Qos, e até VPN IP com MPLS.

No caso de uma provedora que possui um backbone IP publico, o MPLS traz a vantagem de permitir VPN privadas neste backbone”. [PS3] “Possibilita a implementação de VPNs sobre um backbone IP; facilidades de implantação, pois não há necessidade de construção de PVCs, principalmente quando se tem uma VPN full-mesh”. [PS5]

4.2.3 Questão 3

Quais são as vantagens do uso desta tecnologia do ponto de vista do atendimento dos requisitos dos clientes de uma provedora de serviço?

A - Possibilidade de fornecer VPN;

B - Proporciona Engenharia de trafego;

C - Facilita QoS;

D – Outras;

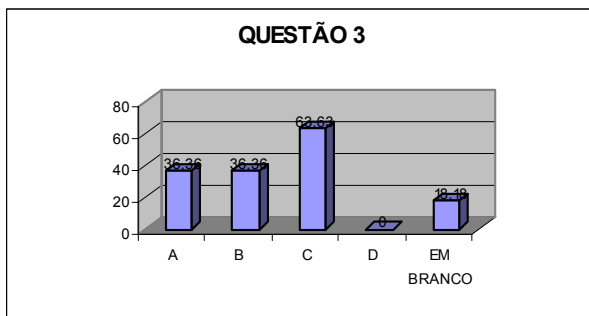


Gráfico 3 – Questão 3

Esta questão destaca que vantagens o MPLS traz ao cliente final de uma rede. Como pode ser observado, novamente o Qos vem com maior destaque com 63,63% deixando claro que a qualidade de serviço é um ponto importante para os usuários, visto tanto pelos provedores de serviço quanto pelos fabricantes de equipamentos. Logo a seguir vem VPN e Engenharia de trafego. Esses dois pontos merecem um comentário,

pois a vantagem da VPN para o cliente final é evidente, porém a Engenharia de Trafego para o usuário é transparente, ela é de grande valia para as operadoras de serviço como já foi visto, portanto a Engenharia de Trafego traz vantagem indireta para o cliente final.

4.2.4 Questão 4

Do seu conhecimento, existe alguma desvantagem no uso desta tecnologia?

A - Custo de implementação

B - Dificuldade de implementação

C - Não há clientes

D - Outras

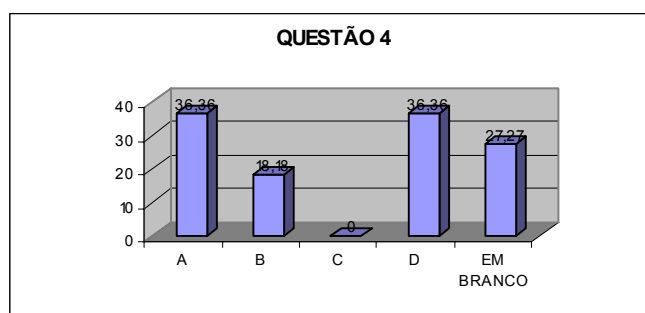


Gráfico 4 – Questão 4

Esta questão visa levantar a existência de alguma desvantagem no uso da tecnologia MPLS, quanto à implementação bem como verificar se existe cliente disposto a usá-la. Como pode ser observado no gráfico 4 os itens que tiveram maior peso com 36,36%, foram “custo de implementação” e “outros” sendo que estes serão citados a seguir. Em seguida temos os itens em branco com 27,27%, que podem ser considerados como não há desvantagem no uso do MPLS. Com 18,18% vem a “dificuldade de implementação”, este fato está relacionado com a implementação em uma rede que já esta em funcionamento, pois muitos dos equipamentos necessitam de *upgrade* de memórias para funcionarem com o MPLS, devido ao *software* que contém a funcionalidade MPLS terem seu tamanho aumentado consideravelmente. Finalmente com 0% vem a falta de cliente o que leva a crer que cliente para utilizarem os serviços oferecidos pela tecnologia MPLS não faltam. Aqui termina as questões gerais da parte I, a seguir serão apresentadas as questões relativas à parte 2 da pesquisa que trata das empresas provedoras de serviços.

As desvantagens apresentadas são inerentes de qualquer nova tecnologia, no entanto com a evolução e aperfeiçoamento da mesma estes problemas tendem a minimizar.

“O troubleshooting é bastante complicado”[PS5]

“Dificuldade de gerenciamento dos recursos disponíveis já que ainda não existem muitas ferramentas para controlá-los, no caso de rede com QoS. A mão de obra capacitada para lidar com a tecnologia ainda é escassa”.[FE1]

4.3 Parte II. Empresa Provedoras de Serviços

4.3.1 Questão 5

Quais são os serviços oferecidos por sua empresa?

A - Voz

B - IP

C – VoIP

D - ATM

E – Linha dedicada

F - ADSL - Outros

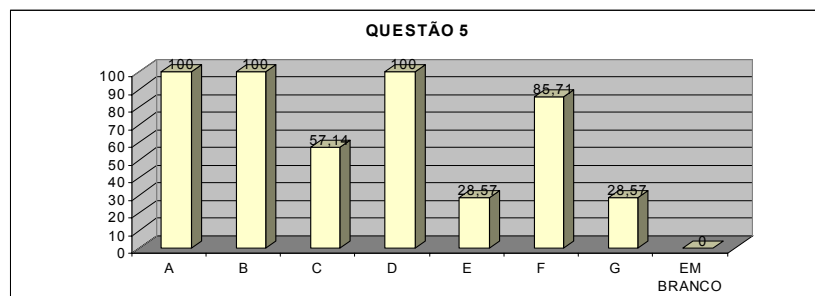


Gráfico 5 – Questão 5

Essa questão visa levantar os serviços mais utilizados pelas operadoras de serviço. O objetivo é verificar a importância dos mesmos para a empresa e se a tecnologia MPLS pode vir a atendê-los. Como pode ser observado no gráfico 5 todas as operadoras oferecem serviços de voz, IP e ATM, este fato torna evidente o uso do MPLS em seu backbone, pois com o MPLS torna mais fácil o uso da rede ATM pelo IP. A seguir observa-se o ADSL que 85,71% e VoIP com 57,14%. Estes dois itens também devem ser

considerados, pois tanto o ADSL quanto o VoIP podem utilizar um domínio MPLS para escoarem seu tráfego o que comprova mais uma vez o grande campo de atuação para a tecnologia MPLS.

4.3.2 Questão 6

A sua organização utiliza ou está em fase de testes do uso da tecnologia MPLS?

A – Sim

B - Não

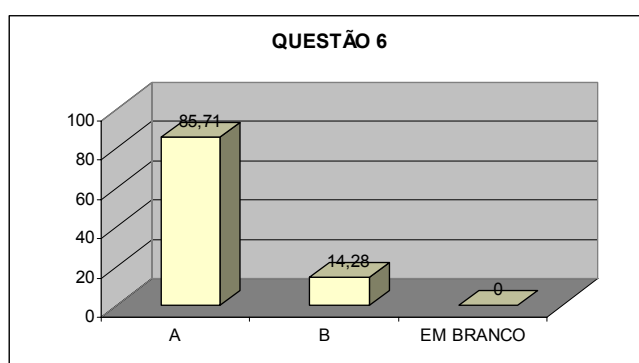


Gráfico 6 – Questão 6.

Essa questão tem a intenção de levantar se há interesse no uso da tecnologia MPLS. Como a pergunta foi colocada abrange tanto os que já utilizam a tecnologia quanto às empresas que estão em fase de teste, mas que ainda não implantaram a mesma. No entanto esse interesse em fazer teste, já demonstra a possibilidade de implementá-la em suas redes. Esses testes têm o objetivo de avaliar o potencial da tecnologia para determinada empresa. Como pode-se ver no gráfico 6 o nível de interesse pela tecnologia está elevado atingindo 85,71%.

4.3.3 Questão 7

Caso afirmativo assinale quais razões da adoção do MPLS.

A - Facilidade de implantação de VPNs

B - Facilidade de Engenharia de Trafego

C - Facilidade de gerenciamento de Qualidade de Serviço

D - Possibilidade de trabalhar com vários protocolos da camada de enlace (2)

E - Outros

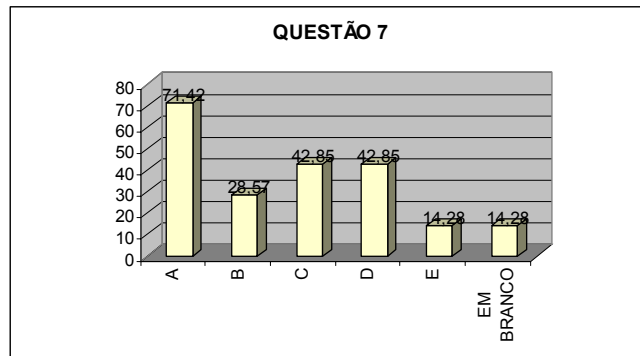


Gráfico 7 - Questão7

Essa questão tem o objetivo de saber quais motivos levam as operadoras de serviço a procurar a tecnologia MPLS. Como pode ser observado no gráfico 7 o item relacionado a “Facilidade de implantação de VPNs” vem em primeiro lugar com 71,42% para as empresas provedoras de serviço seguido da “Facilidade de gerenciamento de Qualidade de Serviço” e “Possibilidade de trabalhar com vários protocolos da camada de enlace (2)” com 42,85%. Em terceira posição vem a “Facilidade de Engenharia de Trafego”. Porém por ser tratar de uma questão de múltipla escolha deve ser considerado que todos os itens citados de uma certa maneira tem relevância para adoção da tecnologia MPLS, sendo que foi opinião da maioria que a facilidade de implantação de VPN é de grande relevância na adoção do MPLS.

4.3.4 Questão 8

Caso afirmativo, em que fase de implantação a sua organização está?

A - Já temos uma rede implantada e em funcionamento;

B - Estamos em fase de Implantação;

C - Estamos em fase de testes de aceitação;

D - Utilizamos apenas para testes de pesquisa;

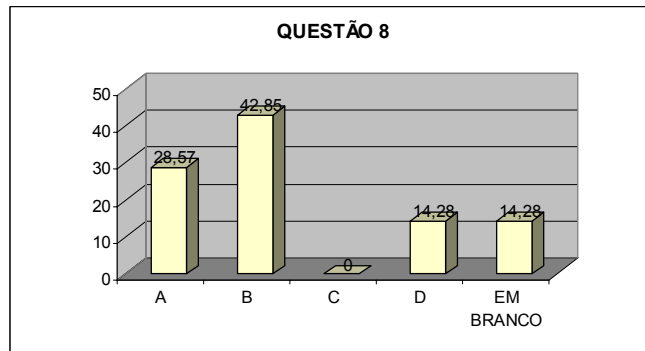


Gráfico 8 – Questão 8

Uma questão que visa medir a situação das empresas provedoras de serviço com relação à adoção da tecnologia MPLS em seu *backbone*. Dos pesquisado 28,57% informaram que já fazem uso do MPLS em seus *backbones*. Estão em fase de implantação 42,85%, utilizando apenas para testes de pesquisa tem-se 14,28% e não responderam 14,28%. Nesta questão pode se observar que a grande maioria, faz uso da tecnologia MPLS, ou fará em breve.

O simples fato de algumas empresas já ter adotado a tecnologia MPLS em suas redes, levará as demais a adotá-la, pois as que assim não procederem estarão em desvantagens competitivas. Possivelmente estas empresas perderão clientes para empresas que a possuem, devido as facilidades que a tecnologia oferece, possibilitando a redução de preços.

4.3.5 Questão 9

Caso tenham sido realizados testes, foi encontrada alguma divergência entre a parte prática e a parte teórica quanto às vantagens do uso da tecnologia MPLS?

- A - Teste com VPN Sim Não
- B - Teste de integração Sim Não
- C - Teste de performance Sim Não

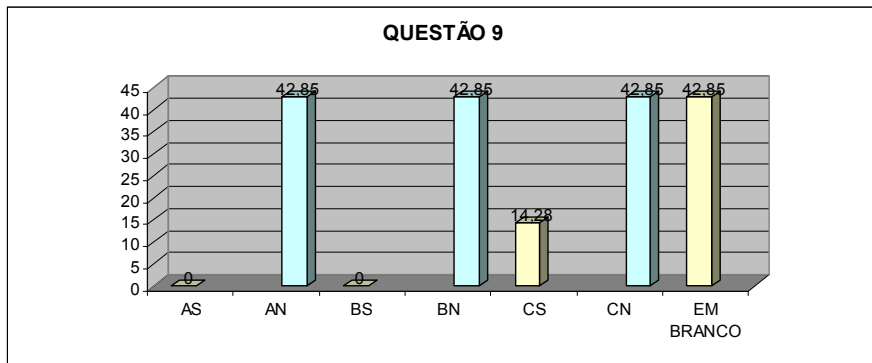


Gráfico 9 – Questão 9

Essa questão se destinou a levantar possíveis problemas relacionados entre a teoria e prática MPLS. Como pode ser observado no gráfico 9 as colunas estão com as seguintes legendas AS, AN, BS, BN, CS, CN. A primeira letra se refere às alternativas e a segunda se refere se a resposta para a alternativa foi sim ou não. Desta forma conclui-se que a maioria dos testes realizados não apresentaram divergência entre a teoria e prática, exceto quanto à performance que teve 14,28%, de insatisfação com relação ao tempo de atraso como pode ser visto no comentário seguir.

Essa questão demonstra que a tecnologia apesar de ser nova, já esta bem evoluída tecnologicamente, ou seja, consegue atender todas as suas especificações.

“Os testes iniciais de performance não foram satisfatórios, no que diz respeito a tempo de atraso”. [PS2]

Tal fato deve ser considerado, mas como é visto no comentário trata-se de testes iniciais podendo ter ocorrido alguma falha na configuração do domínio ou em outro elemento qualquer, já que os demais pesquisados não enfrentaram este problema.

4.3.6 Questão 10

Os resultados obtidos com o uso do MPLS na rede são satisfatórios, tratando-se de:

- A - Performance da rede? () Sim () Não
- B - Interoperabilidade de equipamentos? () Sim () Não
- C - Engenharia de tráfego? () Sim () Não
- D – QoS? () Sim () Não

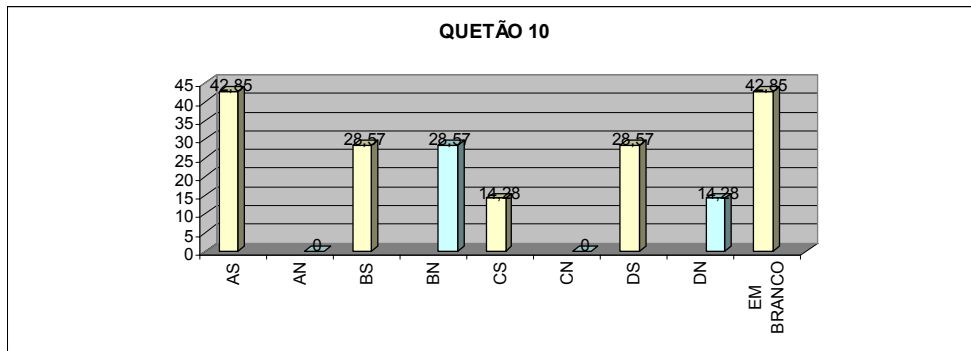


Gráfico 10 – Questão 10

A questão 10 no que se refere a análise do gráfico é semelhante à questão 9.

O objetivo dessa questão é levantar o desempenho de uma rede MPLS com relação aos itens que são mostrados a seguir. A performance da rede teve 42,85% de aprovação dentre os pesquisados que possuem redes em operação, havendo 0% insatisfação para este mesmo item. Com relação à interoperabilidade de equipamentos houve 28,57% de satisfeitos e de insatisfeitos, esse fato relaciona-se a algumas empresas terem equipamentos compatíveis e outras que ainda não passaram por teste de compatibilidade para que se resolva este problema. A Engenharia de Tráfego teve um nível de satisfação de 14,28%, porém não houve insatisfação comprovando-se que poucos estão fazendo uso da engenharia de tráfego no domínio MPLS. O QoS teve um nível de satisfação de 28,57% contra 14,28 % de insatisfação, tal fato pode estar relacionado à dificuldade de configuração. Fazendo-se um resumo dessa questão conclui-se que o nível de satisfação é bastante superior ao de insatisfação entre os opinantes.

Este fato demonstra que o MPLS já atende as exigências de seus clientes.

4.3.7 Questão 11

Houve ou há muitas dificuldades para implantar o MPLS em sua rede?

- A - Custo para implantar
- B - Dificuldades de configuração
- C - Dificuldade de integração entre equipamentos de fabricantes diferentes
- D- Dificuldade de gerenciamento

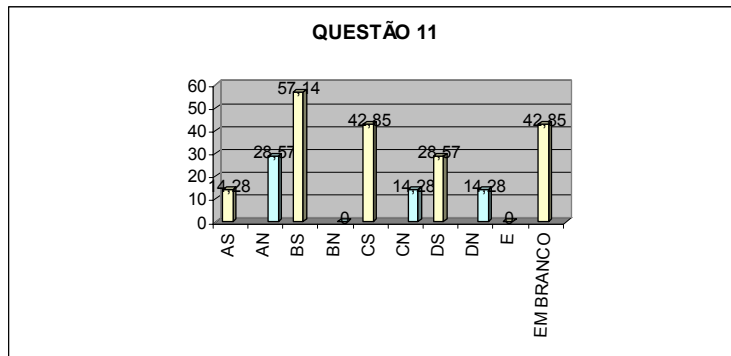


Gráfico 11 – Questão 11

Essa questão tem o objetivo de levantar as dificuldades encontradas pelas provedoras na implementação da tecnologia MPLS. Pelo gráfico 11 verifica-se que existem algumas dificuldades na implementação de uma rede MPLS. Destacando-se como primordial dificuldade a configuração, seguida pela dificuldade de integração dos equipamentos de fabricantes diferentes. Essas dificuldades podem estar relacionados ao fato do MPLS ser uma tecnologia relativamente nova, que exige amadurecimento dos usuários em relação a mesma, bem como os fabricantes precisam de tempo para “lapidarem” melhor seus equipamentos. Há outras dificuldades também citadas com um índice menor. Por exemplo, custo para implantá-lo, dificuldade de gerenciamento.

A maioria destes problemas são completamente normais, pois toda nova tecnologia tem seu preço elevado e dificuldade iniciais de configuração devido a pouca experiências das equipes de implementação, porém estes problemas podem ser sanados com o passar do tempo. A medida que a mesma é disseminada no mercado, seu preço baixa e o conhecimento torna-se acessível a um número maior de pessoas.

4.3.8 Questão 12

Dentre os serviços oferecidos pelo MPLS qual é ou será o mais utilizado em sua empresa

A - VPN

B - Engenharia de Tráfego

C - QoS

D - VoIP

E- Outros especificar:

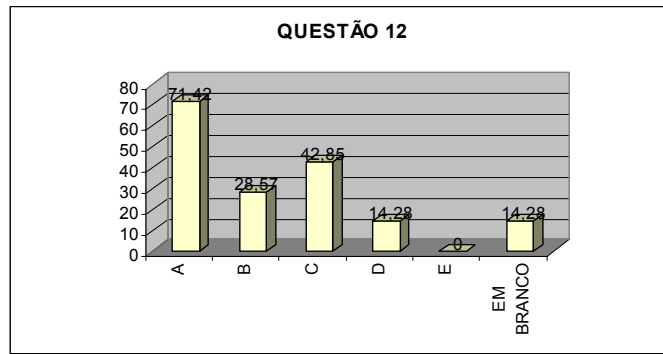


Gráfico 12 – Questão 12

Essa questão teve um peso importante, pois visa levantar qual será o foco das empresas em relação à tecnologia MPLS. No gráfico 12 é facilmente observável que o maior interesse está em prover VPN, seguida de QoS e Engenharia de Tráfego. Isso demonstra mais uma vez que esses três itens têm grande influência nas operadoras, os dois primeiros estão relacionados aos serviços oferecidos ao cliente, e o terceiro relativo ao controle do seu *backbone*.

Percebe-se que as operadoras estão à procura de serviço que agreguem valor a seus *backbones*, trazendo desta forma novos clientes e mantendo os antigos.

4.3.9 Questão 13

Sua empresa pretende expandir o domínio MPLS por todo o backbone?

A - Sim, já estamos utilizando em todo o Backbone.

B - Sim, num futuro próximo.

C - Não

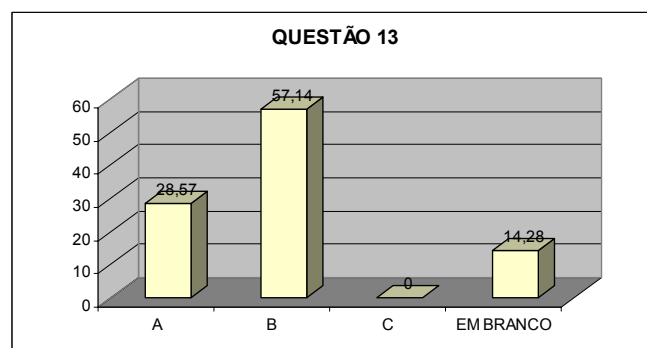


Gráfico 13 – Questão 13

Nessa questão o objetivo é levantar intenção das empresas com relação à adoção e possibilidade de expansão da tecnologia MPLS dentro dos seus backbones. Como pode ser observado no gráfico 13, a maioria das empresas tem interesse em implantar esta tecnologia, bem como ampliar sua abrangência para todo o backbone. Este relaciona-se ao valor agregado que ela traz ao mesmo, devido a possibilidade de implementação de novos serviços.

4.3.10 Questão 14

Caso a sua organização não use esta tecnologia, quais são as perspectivas de implantação do MPLS?

- A - Pretendemos realizar teste ainda este ano;
- B - Não pretendemos realizar teste nos próximos meses;
- C - Achamos que o custo benefício não compensa;
- D - Não há interesse de nossos clientes pelos serviços oferecidos;
- E - Achamos que o custo para implantar a tecnologia MPLS não compensa;
- F - A tecnologia que temos atualmente supri todas as necessidades dos nossos clientes;
- G - Outros

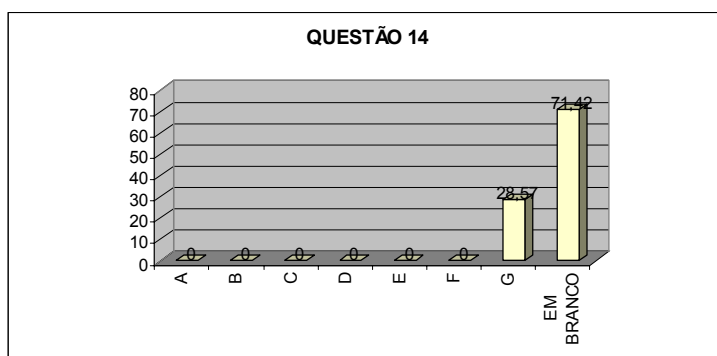


Gráfico 14 – Questão 14

A questão trata de verificar os motivos pelos quais levam a empresa à não adotar a tecnologia MPLS. Como pode ser observado no gráfico 14, o item “outros” teve um certo percentual, referindo-se à empresas que ainda não utilizam a tecnologia, mas que pretendem utiliza-la em breve. Segue comentários abaixo.

o gráfico 14 nos mostra que há quase uma unanimidade na adoção do MPLS , pois mesmo as empresas que ainda não implementaram esta tecnologia, caminham para a implementação, isso demonstra o grande potencial do MPLS no mercado de telecomunicações.

“A tecnologia que temos atualmente supri quase todas as necessidades dos nossos clientes, porém não por muito tempo, portanto estamos em estudos/testes para implementação do MPLS na rede”.[PS1]

“A empresa está em fase de contratação/implementação”[PS2].

4.3.11 Questão 15

Os equipamentos adotados para fornecer MPLS em sua rede facilitam a configuração das facilidades que o MPLS fornece?

A - Sim

B – Não

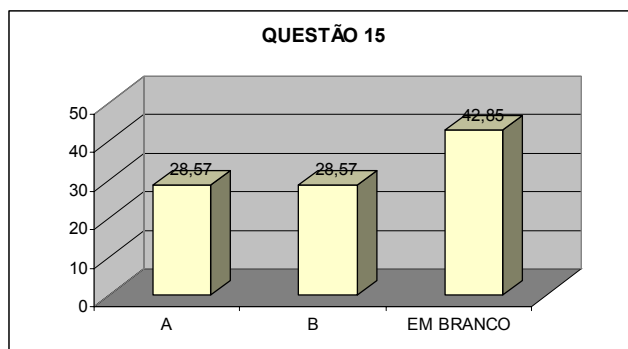


Gráfico 15 – Questão 15

O objetivo dessa questão é verificar as dificuldades encontradas em relação aos equipamentos adotados pela empresa provedora de serviços para a implementação do MPLS. Observando o gráfico 15 superficialmente não se pode concluir nada, pois o percentual de “sim” e “não” são idênticos. No entanto após verificar os comentários das respostas negativas, pode-se afirmar que o problema esta mais relacionado ao conhecimento não só do equipamento, mas de todas as tecnologias envolvidas, juntamente com os procedimentos que devem ser feitos para a implementação da mesma. Segue abaixo comentários das respostas.

“Para poder configurar, é necessário ter conhecimento em várias tecnologias (MPLS, tag switching, BGP, IGP), do contrário o engenheiro de rede não conseguirá resultados. Não basta tentar adivinhar comandos ou seguir menus. É necessário efetivamente ter uma visão completa sobre o que vai ser configurado”. [PS5]

“A maioria dos equipamentos são CISCO, para implementar MPLS nesses equipamentos os mesmos precisarão tanto de aumento de memória quanto de atualização de IOS”. [PS4].

4.3.12 Questão 16

Sua empresa tem ou pretende utilizar o MPLS como uma ferramenta para as redes convergentes NGN (Next Generation Network)?

A – Sim

B – Não

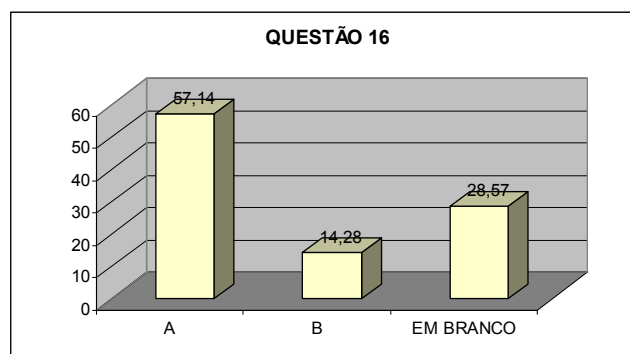


Gráfico 16 - Questão 16

A questão 16 visa medir o interesse das empresas em utilizar o MPLS como uma ferramenta para redes da nova geração onde vários serviços fazem uso de uma estrutura única. O gráfico 16 mostra que esse interesse existe, mostrando assim que o MPLS terá espaço no futuro.

4.3.13 Questão 17

Na sua opinião o custo benefício que a tecnologia MPLS traz às rede levará o mercado a implanta-la em larga escala?

A – Sim

B – Não

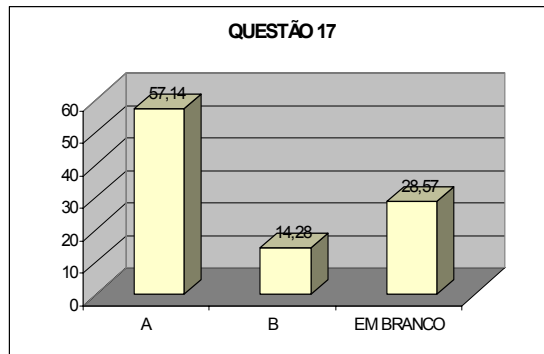


Gráfico 17 – Questão 17

Essa questão finaliza as questões dirigidas as empresas provedoras de serviço, O seu objetivo é obter uma opinião relativa ao alcance da tecnologia MPLS no futuro. Observando o gráfico 17 verifica-se que as empresas estão acreditando que o MPLS tem seu espaço nas redes e possibilidade de expansão. Segue abaixo alguns comentários feitos nas pesquisas.

“Talvez. Atualmente, a vantagem mais significativa diz respeito à implantação. Recursos como engenharia de tráfego e QoS sobre MPLS ainda não estão totalmente dominados, e acabam sendo feitos nas pontas com QoS regular e no backbone através de mecanismos na camada 2”. [PS5]

“O custo para o usuário final terá que ser reduzido para que essa tecnologia venha a sobreviver. Ou seja, os provedores de serviços de comunicação de dados deverão oferecer os mesmos serviços ofertados atualmente (diferentes tecnologias) com uma maior qualidade e menor custo. Sendo os mesmos totalmente transparentes para os clientes”. [PS4]

“Ainda é cedo para esta avaliação. Existe uma tendência forte que sim, mas tudo dependerá do desempenho e da evolução redes MPLS”. [PS2]

4.4 Parte III.- Fornecedora de Equipamentos de Rede

4.4.1 Questão 18

Quais das tecnologias abaixo são oferecidos por sua empresa?

A - Voz

B - IP

C - VoIP

D - ATM

E - ADSLF - Outros

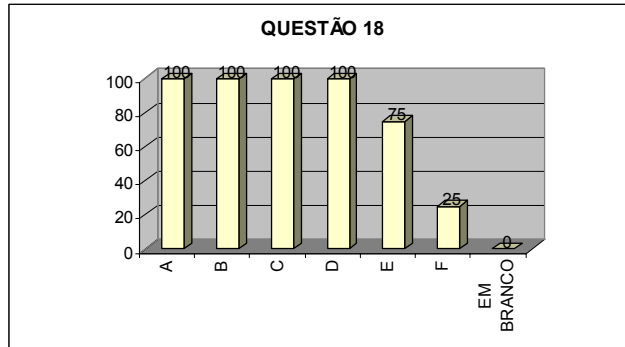


Gráfico 18 – Questão 18

A primeira pergunta dirigida aos fornecedores de equipamentos têm por objetivo saber quais as tecnologias utilizadas, para obter-se uma avaliação referente ao potencial da empresa em fornecer a tecnologia MPLS. Como pode ser observada no gráfico 18 a totalidade dos pesquisados informou que suas empresas trabalham com voz, IP, VoIP e ATM e 75% informou que trabalha com ADSL. Estes números comprovam que todas têm potencial para fornecer a tecnologia MPLS.

4.4.2 Questão 19

A sua organização oferece equipamentos com a tecnologia MPLS?

A – Sim

B – Não

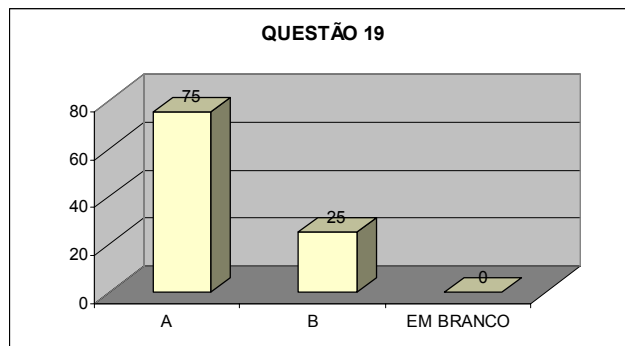


Gráfico 19 – Questão 19

Uma questão muito importante, uma vez que determina o conhecimento prático dos pesquisados com a tecnologia. Através do gráfico19 é fácil verificar, pois 75% dos pesquisados responderam que sua empresa fornece equipamento com a tecnologia MPLS.

O fato da empresa deter a tecnologia, supõem-se que a mesma tenha pessoas treinadas e qualificadas para implementá-la e dar suporte. Como as implementações foram feitas recentemente este conhecimento ainda não está aprofundado o suficiente, isso só ocorrerá com o tempo. Este fato reforça que a pesquisa foi executada a pessoas com bom conhecimento do assunto.

4.4.3 Questão 20

Caso afirmativo, assinale quais serviços oferecidos pelo MPLS são mais procurados?

A - Facilidade de implantação de VPNs;

B - Facilidade de Engenharia de Trafego;

C - Facilidade de gerenciamento de Qualidade de Serviço;

D - Possibilidade de trabalhar com vários protocolos da camada de enlace (2);

E – Outros

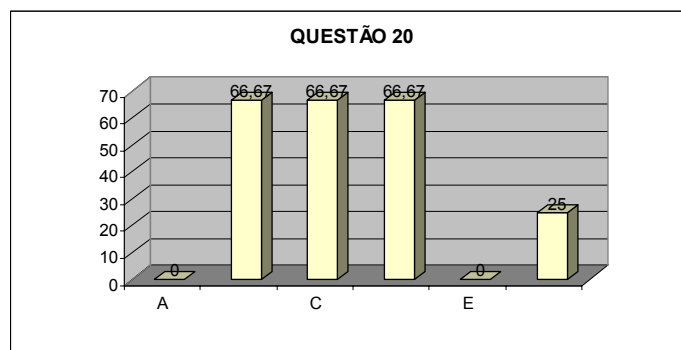


Gráfico 20 – Questão 20

Essa questão serve para se ter o ponto de vista dos fabricantes de equipamentos com relação aos serviços desejados por seus clientes que neste caso são a provedoras de serviço. Porém ao se contrastar os gráficos 7 e 20 percebe-se a incoerência que há em se tratando da facilidade de implantação de VPN, uma vez que no gráfico 7 ela teve um maior peso enquanto na questão 20 seu valor foi zero. Mostrando-se que há informações

desalinhadas entre fabricantes e provedores de serviço neste item. Os demais itens são equivalentes desvirtuando apenas em valores percentuais. Os itens considerados como mais procurados são também ET, QoS e há facilidades de operar com várias tecnologias da camada 2. Esse fato deve-se a garantia que as provedoras tem de preservar seus investimentos feitos nesta tecnologia até o momento, como por exemplo ATM e FR.

4.4.4 Questão 21

Caso afirmativo como esta sendo a aceitação do mercado?

A - Bem aceito

B - Com receio

C - Não há aceitação

D - Outros

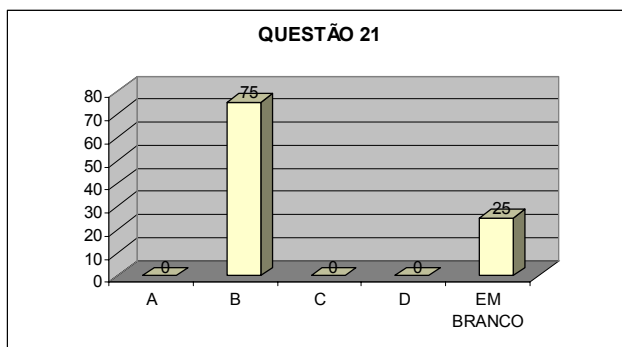


Gráfico 21 – Questão 21

A questão 21 visa levantar como anda o mercado de MPLS para os fabricantes de equipamentos. Ao avaliar-se o gráfico 21 constata-se que 100% dos que responderão esta questão, ou seja, 75% do total, mencionou que o mercado está com receio do MPLS, no entanto isso não pode ser visto como um problema, pois a pesquisa foi feita em um período em que o mercado de telecomunicações estava em crise. É provável que após essa crise a visão do mercado em relação à tecnologia será positiva.

4.4.5 Questão 22

Sua empresa já realizou testes de compatibilidade da tecnologia MPLS com outros fabricantes?

A – Sim

B – Não

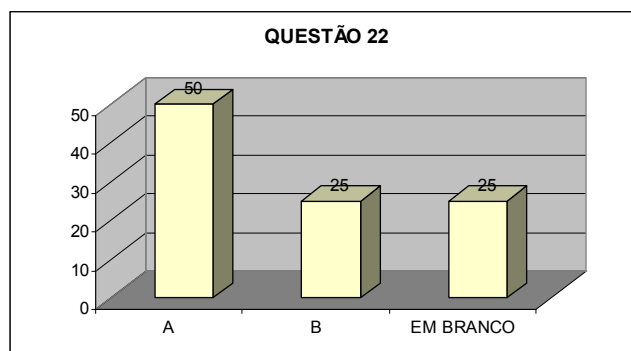


Gráfico 22 – Questão 22

A questão tem o objetivo de verificar o interesse dos fabricantes em fazer testes de compatibilidade entre os seus equipamentos e os de outros fabricantes. Estes testes visam eliminar problemas de incompatibilidade dos equipamentos, antes mesmo deles serem colocados em operação no cliente. Analisando os dados do gráfico 22 verifica-se que a maioria dos pesquisados que responderam essa questão já haviam realizado algum teste de compatibilidade com outros fornecedores de equipamentos. Este fato demonstra que apesar dos fabricantes estarem vendo seus clientes com receio, os mesmo acreditam no potencial que esta tecnologia tem para oferecer ao mercado, e mais cedo ou mais tarde ela ocupará seu espaço.

4.4.6 Questão 23

Caso afirmativo houve algum problema?

A – Sim

B – Não

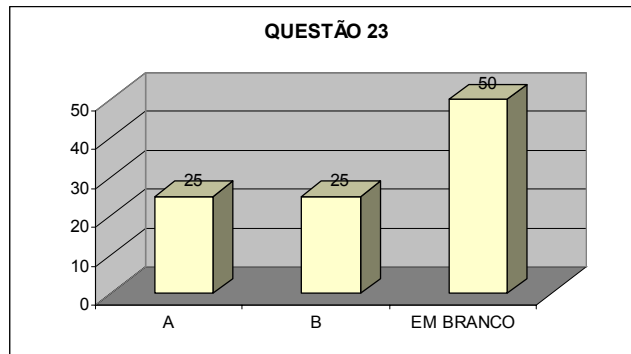


Gráfico23 – Questão 23

Entre os que responderam a questão 50% encontrou problemas de compatibilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes. Esse fato pode ser considerado normal, pois é bastante comum ocorrerem alguns problemas em teste entre fabricantes, pois as RFC algumas vezes não são claras, proporcionando interpretações deversas. Esses problemas geralmente são resolvidos passando os resultados dos testes para o pessoal do desenvolvimento de cada fabricante. O mais importante para a pesquisa nessa questão, é o fato de os fabricantes estarem empenhados em resolver possíveis problemas com a tecnologia MPLS, demonstrando seu interesse nesta tecnologia.

Por se tratar de uma tecnologia ainda em fase de implementação, pode-se considerar que dados obtidos no gráfico 23 estão dentro do esperado, tendo em vista que nem todos os participantes da pesquisa tinham conhecimento aprofundado do assunto. Levará um certo tempo até que este conhecimento seja assimilado. Também os equipamentos não estão testados para todas as possibilidades, isto, só ocorrerá com o passar do tempo à medida que as redes forem sendo interligadas.

4.4.7 Questão 24

Sua empresa tem ou pretende utilizar o MPLS como uma ferramenta para as redes convergentes NGN (Next Generation Network)?

A – Sim

B – Não

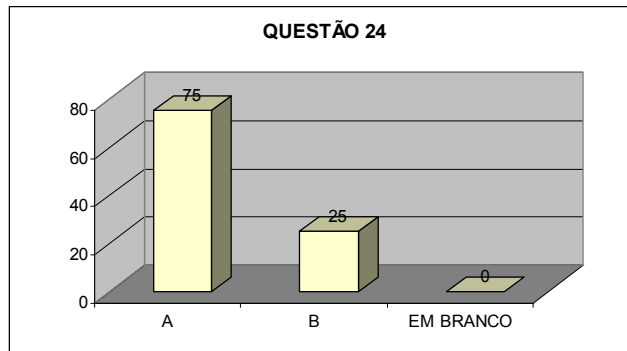


Gráfico24 – questão 24

Esta questão tem o objetivo de avaliar o posicionamento dos fabricantes de equipamentos em relação ao uso do MPLS nas redes de Nova geração NGN. Comparando os dados da questão 24 com os da questão 16 verifica-se que há uma sinergia entre as respostas dos provedores de serviço e os fabricantes de equipamentos. Este fato confirma que o MPLS estará no contexto das redes do futuro.

O fato dos fabricantes de equipamentos verem a tecnologia MPLS como uma ferramenta para as redes do futuro, só vem reforçar a idéia de que as novas tecnologias devem atender não somente as necessidades atuais, como também estarem preparadas para as redes de nova geração.

4.4.8 Questão 25

Na sua opinião o custo benefício que a tecnologia MPLS traz às rede levará o mercado a implanta-la em larga escala?

A – Sim

B – Não

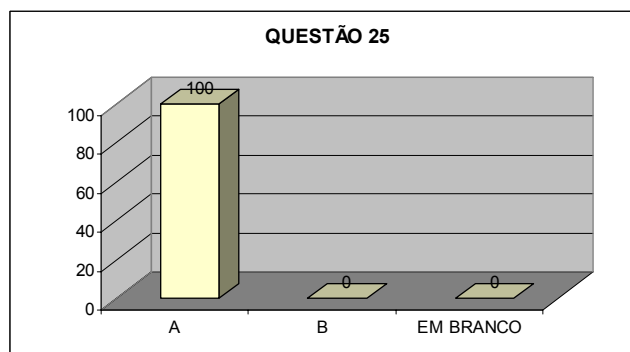


Gráfico 25 – questão 25

Esta questão visa obter a opinião dos fabricantes de equipamentos em relação ao alcance da tecnologia MPLS no futuro. Como pode ser visto no gráfico 25 as perspectivas na visão dos fabricantes de equipamentos não poderia ser melhor 100% acham que o MPLS será implantado em larga escala no futuro. Este fato reforça a credibilidade dos fabricantes nesta tecnologia, com isso pode se esperar um grande esforço empregado para que ela seja implementada e atenda as necessidades de seus clientes.

4.5 Conclusão

O resultado do presente estudo atingiu seu objetivo, levantar a viabilidade do uso da tecnologia MPLS nos *backbones* no Brasil, expectativas das empresas em função da potencialidade desta nova tecnologia no setor de telecomunicações e seu efetivo uso. A nova tecnologia mostrou-se como um novo marco no mundo das redes de computadores, onde novos processos e conhecimentos terão que ser assimilados. Novas metodologias terão que ser adotadas. O MPLS é parte fundamental deste processo de constante evolução.

Constatou-se através da pesquisa que o número de pessoas com conhecimento aprofundado na tecnologia ainda não é o desejado, porém há um grande interesse em conhecê-la.

Verificou-se alguns pontos fracos, custo para implementação, dificuldades para fazer a configuração do domínio MPLS e um certo receio do mercado de telecomunicações, ver gráfico 26. No entanto, tais pontos são inerentes de qualquer nova tecnologia que tem seu custo inicial elevado e um certo receio inicial quanto a sua funcionalidade, mas com o tempo seu custo de projeto é diluído e seu preço cai para patamares mais aceitáveis. A dificuldade de configuração também é aceitável, tendo em vista que sua configuração inicial depende de um conhecimento prévio de várias tecnologias, no entanto este problema é facilmente sanado fazendo-se investimentos em treinamento do seu pessoal técnico.

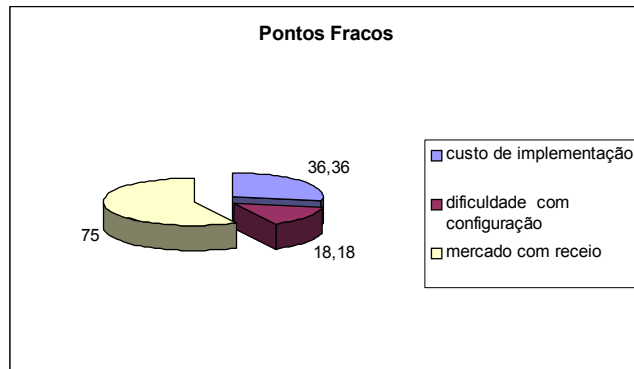


Gráfico 26 - Pontos fracos

Por outro lado os vários pontos positivos tornam O MPLS atrativo ao mercado. O ambiente propício nas provedoras de serviço para sua implementação, onde voz, IP, ATM ADSL e VoIP são os serviços mais utilizados (ver gráfico 27) e são clientes potenciais para o MPLS.

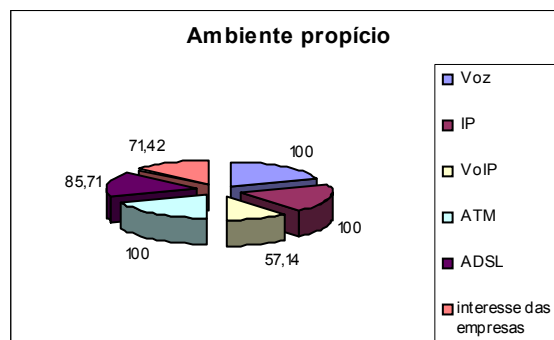


Gráfico 27 - Ambiente Propício

Outro ponto importante foi as vantagens citadas, nas quais se destacam VPN , QoS e ET e a possibilidade de trabalhar com várias tecnologia da camada 2, (ver gráfico 28). O serviço VPN tem um grande mercado e um grande valor estratégico para as empresa, pois poderá competir com tecnologias como Frame Relay com custos mais baixos, tornando o MPLS uma ferramenta para manter e ganhar novos clientes.

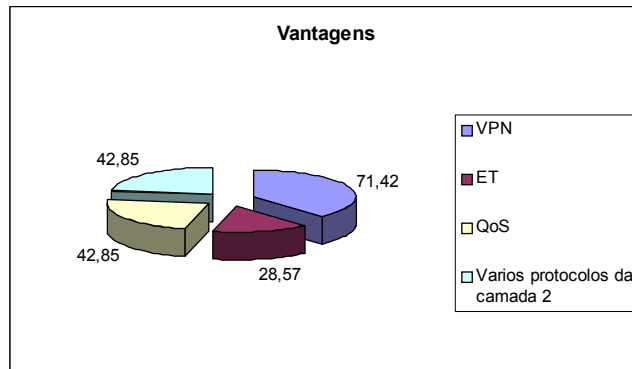


Gráfico 28 - Vantagens

Confirmou-se que algumas empresas já utilizam a Tecnologia em seus Backbone e outras estão ainda em fase de teste, com intenção de implantá-la. Mostrou-se também que nos testes com VPN e integração de equipamentos de fabricantes diferentes não houve problema, porém ocorreram problemas quanto ao desempenho onde foram encontradas algumas divergências entre a teoria e a prática. O MPLS deve ser mais eficiente que o IP no encaminhamento de pacotes, no entanto isso não ocorreu em um teste[41]. Outros devem ser feitos em ambiente real para averiguar este problema. A maioria dos pesquisados não encontrou ou não se deu conta desse problema em suas redes. Embora ainda exista problema de compatibilidade entre equipamentos de alguns fabricantes, os mesmos estão trabalhando para que isso seja sanado. A pesquisa mostrou que a maioria das empresas acredita no MPLS como uma ferramenta para as redes de nova geração (NGN), e que o mesmo será implementado em larga escala nos *backbones* no Brasil (ver gráfico 29).

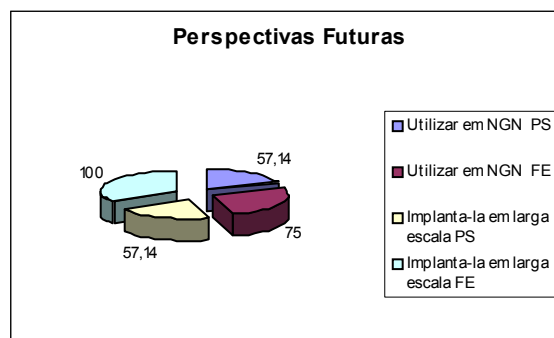


Gráfico 29 – Perspectivas futuras

Conclui-se com esse estudo que a tecnologia MPLS, apesar de apresentar alguns pontos fracos tem um grande mercado a explorar no Brasil, devido as suas vantagens, ambiente propício, e sua característica particular de trabalhar com vários protocolos.

Capítulo 5 Conclusão Final

O objetivo principal da pesquisa foi levantar o efetivo uso da nova tecnologia no setor de telecomunicações, nos setores ligados a mesma, como contribuição para o processo de transformação e modernização das empresas provedoras de serviço, através das facilidades que a nova tecnologia propicia. Esta é uma realidade que caminha a passos largos a cada dia, onde as organizações apontam para um processo evolutivo, considerando as habilidades, para VPN, QoS e ET em que a tecnologia proporciona. Recursos estes determinantes e decisivos para uma reestruturação de suas redes.

Durante a pesquisa observaram-se alguns fatos interessantes, primeiramente as procuras por pessoas que conhecessem a tecnologia, poucas tinham conhecimento do assunto. O seguinte fato diz respeito a pessoas que não responderão a pesquisa alegando que o MPLS tratava-se de uma tecnologia estratégica para a empresa não podendo passar informações, mesmo sabendo que não seriam divulgados seus nomes ou o da empresa. Este fato só reforça que há interesse das empresas nesta tecnologia. Por outro lado as pessoas que responderam, colocaram-na num elevado nível, com excelentes comentários proporcionando o sucesso da mesma.

O terceiro fato diz respeito ao comentário feito na folha de apresentação da pesquisa. O comentário dizia o seguinte:

”Caso seja de seu interesse, será enviada uma copia da dissertação final, para isso coloque um "X" abaixo”. A adesão foi de 63,64 %, o que demonstra o interesse pelo resultado da mesma.

Alem disso, notou-se, no resultado da pesquisa que os tradicionais meios de comunicação voz IP e ATM são as tecnologias mais utilizadas no momento, seguidos de ADSL e VoIP ambas ainda em crescimento, o que realça o ambiente propicio para se implantar o MPLS.

Além de vários itens destacados na pesquisa, observou-se que a confiabilidade e a garantia que a nova tecnologia oferece está sendo bem recebida pelas empresas provedoras de serviço. Em razão disso constatou-se que as empresas desejam um sistema

eficiente e flexível que atenda as suas necessidades plenamente, sendo que este é objetivo do MPLS.

A introdução da nova tecnologia no mercado de telecomunicações cria uma nova visão nas organizações que a vêem como uma importante ferramenta para atender os serviços existentes, bem como a criação de novas oportunidades de negócios, como por exemplo, serviços VPN mais eficientes. Essa visão mostra a direção da tecnologia MPLS que passa a ser também enfatizada num contexto de alta competitividade entre as empresas provedoras de serviços.

O MPLS oferece uma série de facilidades as empresa que o possuem. O caminho para que este tipo de tecnologia seja adotado, e obtenha um contínuo sucesso no competitivo mercado de telecomunicações é árduo, porém seus benefícios mostram-se compensadores.

Ilustram-se como benefícios os serviços das redes virtuais privados (VPN) que poderão trafegar numa rede pública com inteira segurança. O tráfego nas redes poderão ser controlados através da Engenharia de Tráfego, e ainda a possibilidade de dar ao IP certas características, as quais possibilitam a convergência de todas as redes de voz sobre um único domínio MPLS. Benefícios como esses fazem o diferencial da nova tecnologia no mercado de telecomunicações.

A nova tecnologia e suas facilidades precisam ser bem assimiladas pelas empresas, tanto as fornecedoras de equipamentos quanto as provedoras de serviços. A tecnologia deve ser implementada de maneira correta e segura, para isso suas equipes terão que ser treinadas, para que façam seu serviço com qualidade e segurança.

Diante destes resultados e das análises das questões feitas no capítulo anterior pode-se afirmar que a tecnologia MPLS não só tem possibilidade de implantação nos *backbones* das empresas no Brasil, como também tem grande possibilidade de expansão. Para que ela perdure e dê sua contribuição ao mercado de telecomunicações, é necessário que as empresas invistam em treinamento de pessoal, pois somente profissionais capacitados terão possibilidade de implantá-la e operá-la de forma correta, aproveitando todas as suas qualidades. Desta forma a palavra rótulo e pacote trabalharam unidos para transportar milhões de informações através do mundo.

5.1 Trabalhos Futuros

No decorrer da pesquisa, observou-se que as pessoas têm grandes expectativas e interesses em conhecer o conteúdo das novas tecnologias. Algumas não se sentiram à vontade para responder a pesquisa devido a uma postura da empresa quanto a divulgação de informações. Para contornar este problema, o mais viável será criar uma forma de pesquisa permanente onde todos poderiam colaborar e obter resultados anonimamente. Para se manter a qualidade da pesquisa, o acesso a mesma se dará através de senha que será distribuída previamente para pessoas que trabalham com esta tecnologia nas empresas. Esta poderia ser feita através de um site o qual seria divulgado para pessoas qualificadas nas empresas, onde as mesmas poderiam além de colaborar com as informações, terem acesso aos resultados da pesquisa em tempo real. Estes resultados seriam utilizados para direcionar novas pesquisas, sanar possíveis problemas apresentados e também servirem como base para gerar novos serviços e ferramentas para o MPLS.

Outro ponto a ser estudado são testes de avaliação em um ambiente real, ou seja, numa provedora de serviços que utilize a tecnologia MPLS. Estes testes podem ser de avaliação de desempenho da tecnologia, segurança dos serviços oferecidos, fazendo um paralelo com as tecnologias existentes. Tais testes contribuirão para obter-se uma visão mais abrangente da tecnologia num ambiente real. Com tais dados poderá se propor aperfeiçoamentos e sanar problemas futuros.

Referências

- [1] - Cristina truubreg, Kjell Jonsson, Entendendo Telecomunicações
editora Érica- 2000 1 edição . Volume 1.
- [2] - Ericsson, white paper, EN/LZT 108 5314 R1 - The Migration Story:
<http://www.ericsson.com/multiservicenetworks/BuildMain.asp> - Outubro 2001
- [3] D. Su, J. Srivastava e J.H. Yao, Investigating factors influencing QoS of Internet phone,
www.computer.org/proceedings/icmcs/0253/Volume%201/02539308abs.htm
IEEE, Junho 1999.
- [4] T. J. Kostas, M. S. Borella, I. Sidhu, G. M. Schuster, J. Grabiec e J. Mahler,
Real-time voice over packet-switched networks, IEEE Network, vol. 12, no. 1, Janeiro
1998.
- [5] International Telecommunication Union, Bearer independent call control protocol Recommendation Q.1901, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Fevereiro 2000.
- [6] International Telecommunication Union, Packet based multimedia communication sys-tems, Recommendation H.323, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Novembro 2000.
- [7] International Telecommunication Union, “Functional description of the ISDN user part of signalling system no. 7.,” Recommendation Q.761, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, 1994.
- [8] E. Rosen, A. Viswanathan, R. callon, Multiprotocol Label Switching Architecture,
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>, -Janeiro 2001.
- [9] D. Ooms, B. Sales, W. Livens, A. Acharya, F. Griffoul, F. Ansari, Framework for IP Multicast in MPLS,
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-multicast-07.txt>,
Janeiro 2002
- [10] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, LDP Specification,
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3036.txt>, Janeiro 2001.

- [11] B. Davie, J. Lawrence, K. McCloghrie, E. Rosen, G. Swallow, Y. Rekhter, P. Doolan, MPLS using LDP and ATM VC Switching, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3035.txt>, Janeiro 2001
- [12] E. Rosen, D. Tappan, G. Fedorkow, Y. Rekhter, D. Farinacci, T. Li, A. Conta, MPLS Label Stack Encoding, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3032.txt>, Janeiro 2001
- [13] Rogério Nesi Pereira Cardoso, A integração de múltiplos serviços com o MPLS, <http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/manchetes/default.asp?Id=20> ,
Fevereiro 2002
- [14] Ericsson -White Paper Broadband multi-service networks
<http://www.ericsson.com/multiservicenetworks/default4.htm> , outubro 2001
- [15] Jonathan Rosenberg, Distributed Algorithms and Protocols for Scalable Internet Telephony Columbia University, 2001
- [16] Ashutosh Dutta and Henning Schulzrinne, A Streaming Architecture for Next Generation Internet <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/research/IRT/imm/imm.html>,
Helsinki, Finland, Junho 2001
- [17] Richard D. Gitlin, Next Generation Networks: The New Public Network
<http://www.cs.columbia.edu/~hgs/cnrc/seminars-f00.html> ,Outubro 2000
- [18] Hiroyuki Saito, Yasuhiro Miyao, Makiko Yoshida,
Traffic Engineering Using Multiple Multipoint-to-Point LSPs
<http://www.cs.columbia.edu/~hgs/infocom/2000/program.html#8>
- [19] Neil jerram, Adrian Farrel MPLS in optical networks
<http://www.dataconnection.com> , Outubro 2001.
- [20] Elionildo da Silva Menezes Djamel F. H. Sadok Paulo Rogério Pereira Uma Abordagem para Implementação de Gerenciamento de Políticas em Redes de Serviços Diferenciados Universidade Federal de Pernambuco,
<http://mariel.inesc.pt/~prbp/publica/wtmn.pdf>
- [21] Black, D., An Architecture for Differentiated Services, RFC 2475, December 1998

- [22] Paul Brittain, Adrian Farrel, MPLS Traffic Engineering: A choice of signaling protocols Jan- 2000
- [23] Beniluz daniel, Berkman omer, Ravid carmel, OSPF Tel-Aviv University, <http://www.rad.com/networks/1995/ospf/ospf.htm#t0>
- [24] *Xipeng Xiao* Providing Quality of Service in The Internet Michigan State University <http://www.inf.puc-rio.br/~thyago/refer> 2000
- [25] J. Ash, M. Girish, E. Gray, B. Jamoussi, G. Wright, Applicability Statement for CR-LDP, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3213.txt> Janeiro 2002
- [26] B. Jamoussi, L. Andersson, R. Callon, e outros, Constraint-Based LSP Setup using LDP, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3212.txt?number=3212> , Janeiro 2002
- [27] Fernanda Pressinott, revista teletime Equant enxuga e aposta na convergência http://200.157.161.15/teletime/revista/46/neg_prod.htm JULHO 2002
- [28] Renato Coltro, Campeões de audiência em telecom Computerworld http://computerworld.terra.com.br/@imprimir/templ_print_mat.asp?id=20613,25/07/2002
- [29] Ana J.F.Pinheiro, Cláudio Guido, e outros, Um Estudo do MPLS e sua Importância para o REMA UFBA - Abril, 2000
- [30] Márcio Gurjão Mesquita, MPLS http://www.larces.uece.br/tutoriais/mps_marcio_tutorial.pdf, Julho, 2001
- [31] Lucia Helena Corrêa Projetos em ritmo lento worldtelecom <http://worldtelecom.idg.com.br/wt/revista/39/0003>, Outubro, 2001
- [32] Cisco Brasil, Cisco é a fornecedora oficial de roteadores para o Sistema de Pagamentos Brasileiro http://www.cisco.com/br/h_sucesso_spb.shtml, 2002
- [33] MPLS Forum Technical Committee, Voice over MPLS – Bearer Transport Implementation Agreement Julho, 2001
- [34] Joberto Martins, Prof. Dr. Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos <http://www.networkdesigners.com.br/Artigos/qos/qos.html>
- [35] Neil Jerram, MPLS IN OPTICAL NETWORKS, <http://www.dataconnection.com/mps/optical.htm>, outubro de 2001

[36] Artigo A Marconi Exibe as Realizações em MPLS em Demonstração de Interoperabilidade, http://www.marconi.com/media/Brazil_MPLS2.pdf

[37] Artigo worldtelecom, Grupo completa testes com o protocolo MPLS <http://worldtelecom.idg.com.br/wt/tecnologia/2002/08/0002> Agosto 2002

[38] Rao Cherukuri, Tom Walsh, Voice over MPLS – Bearer Transport Implementation Agreement, MPLS Forum, Julho de 2001

[39] Bruce Davie , Yakov Rekhter, MPLS Technology and Application editora Morgan kaufmann publishers.

[40] Pyramid Research MU Brazil validation <http://www.pyramidresearch.com/home.asp> Agosto 1999

[41] Fernando Barreto e outros Avaliação de Encaminhamento de Pacotes em Redes com e sem MPLS, Projeto UCER, UFSC – 2002

[42] Nilza N. da silva Amostra probabilística. São Paulo: Edusp, 1998 Cap 6.