

Parte III – Redes Metro.: EPON e RPR

IEEE 802.3ah (EPON)

Rede Óptica Passiva - PON

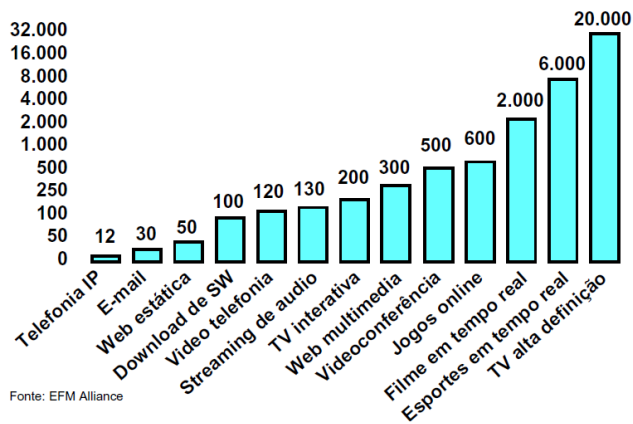
Tecnologias de última milha disponíveis

- DSL - ADSL, VDSL
- Cable modem - HFC
- Wireless - WiFi ou WiMax
- Power Line
- FTTX - FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab

HFC - Hybrid fibre-coaxial

Rede Óptica Passiva - PON

Demanda de banda por aplicação em kb/s



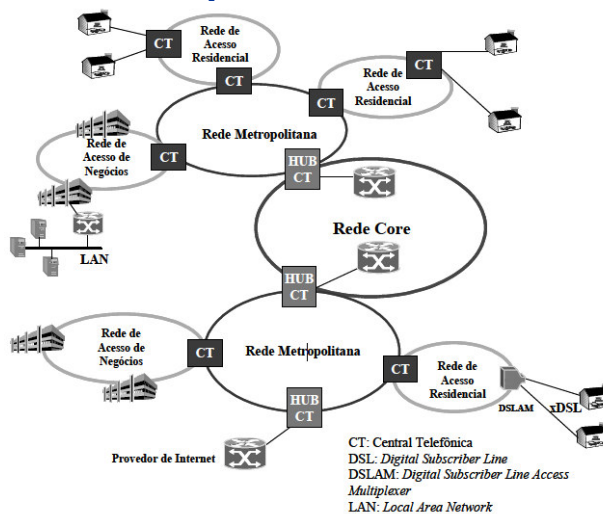
Fonte: EFM Alliance

Rede Óptica Passiva - PON

As redes ópticas podem ser divididas em 3 categorias

- Rede *core*
- Rede metropolitana
- Rede de acesso

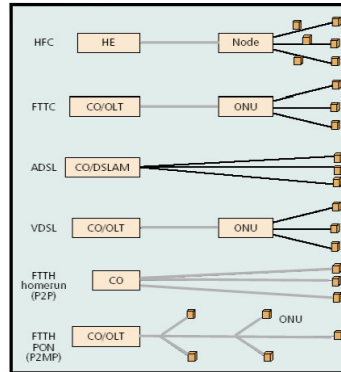
Rede Óptica Passiva - PON



Visão genérica de um sistema de comunicações ópticas

Rede Óptica Passiva - PON

Tipos das Redes Ópticas de Acesso



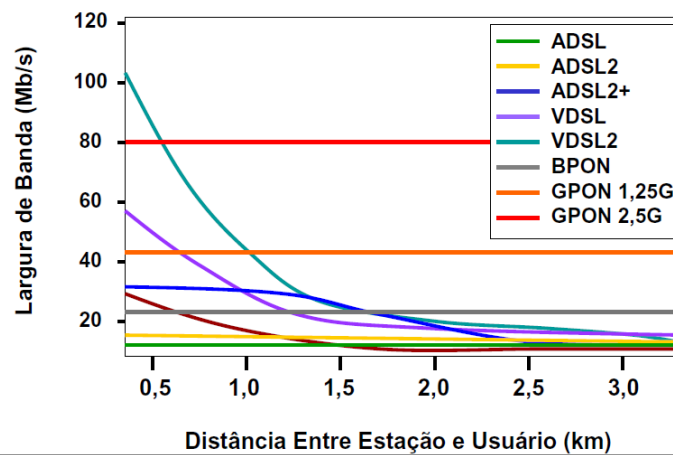
- HFC – Hybrid Fiber Coax
- HE – Head End
- CO – Central Office
- FTTC – Fiber to the Curb
- FTTH – Fiber to the Home
- ONU – Optical Network Unit
- OLT – Optical Line Terminal
- DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer
- ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line
- VDSL – Very High Speed Digital Subscriber Line
- P2P – Point to Point
- P2MP – Point to Multi Point



Fonte: IEEE

Rede Óptica Passiva - PON

Variação da largura de banda para as diversas tecnologias



Rede Óptica Passiva - PON

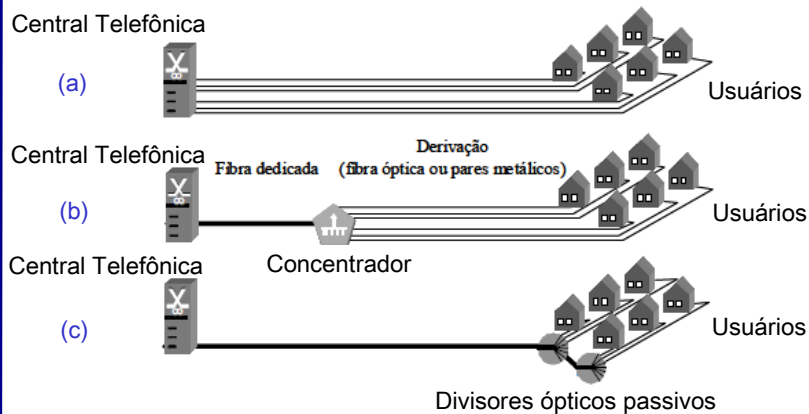
Tempo para Receber um Filme de 2h de duração

Tecnologia	Minutos	Horas	Dias
Modem 56 kb/s			2
ISDN 128 kb/s		20	
FedEx		12	
DSL 1 Mb/s		2.5	
Cable 2.5 Mb/s		1	
45	45		
FTTH	0.4		

Fonte: FTTH Council

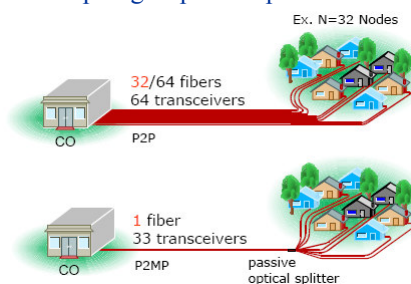
Rede Óptica Passiva - PON

Classificação das redes ópticas de acesso



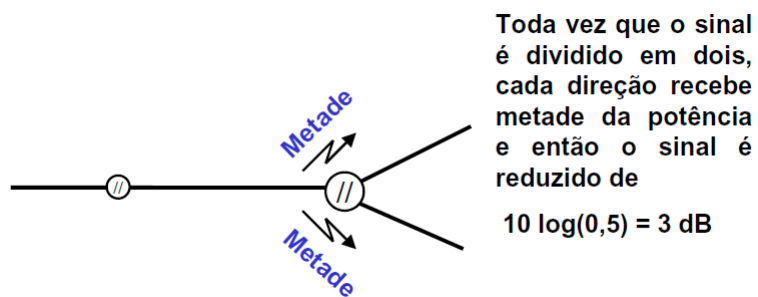
Rede Óptica Passiva - PON

- Usuários compartilham a fibra-tronco da rede de distribuição óptica (ODN).
- Eliminar a necessidade de equipamentos elétricos na primeira milha da rede é uma faceta fundamental da topologia.
- Outra vantagem é que a quantidade de fibras requerida é muito menor, se comparada a outras topologias ponto a ponto.



Rede Óptica Passiva - PON

Divisão da potência



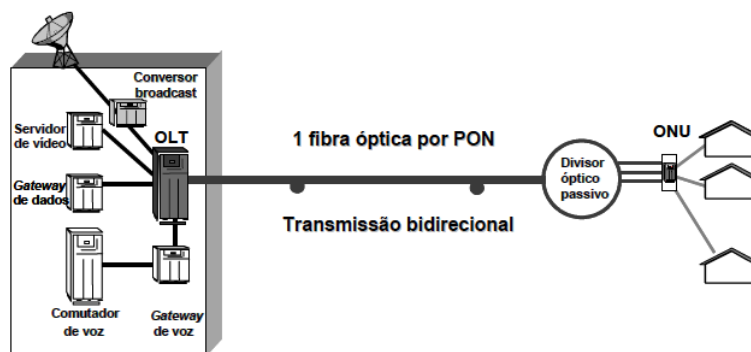
Rede Óptica Passiva - PON

Elementos básicos:

- O sinal óptico de uma fibra é enviado para um ou mais divisores passivos, denominados splitters, e retransmitida para vários equipamentos ONU's.
- Cada ONU irá então receber e transmitir sinais em um canal próprio com a banda dinamicamente alocada e QoS e SLAs individuais. Os sinais transmitido e recebido operam com comprimentos de onda diferentes, permitindo, dessa forma, que a operação ocorra sobre uma única fibra.
- A OLT irá avaliar esses QoS e SLAs e a disponibilidade do segmento PON que ele opera. Após isso, a alocação dinâmica é aplicada. Esse processo pode prover banda entre 1 Mbps e 10 Gbps aos usuários.

Rede Óptica Passiva - PON

Elementos básicos:



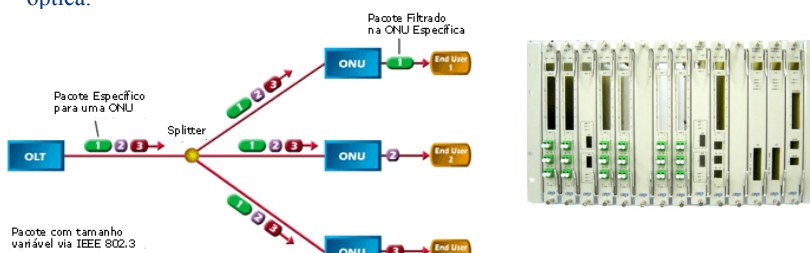
Representação esquemática de uma rede óptica passiva

Rede Óptica Passiva - PON

Elementos básicos:

OLT (Optical Line Terminal)

- Viabiliza os serviços para os usuários finais e controla a qualidade do serviço (QoS) e o SLA, entre outras tarefas.
- É o elemento que realiza a multiplexação dos diferentes usuários na fibra óptica.



SLA - service-level agreement

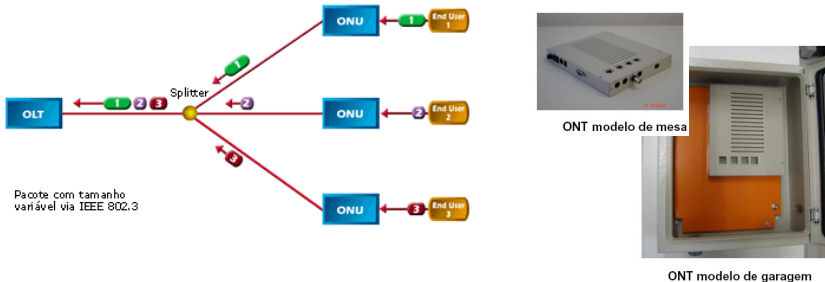
Rede Óptica Passiva - PON

Elementos básicos:

ONU (Optical Network Unit)

ONT (Optical Network Terminal)

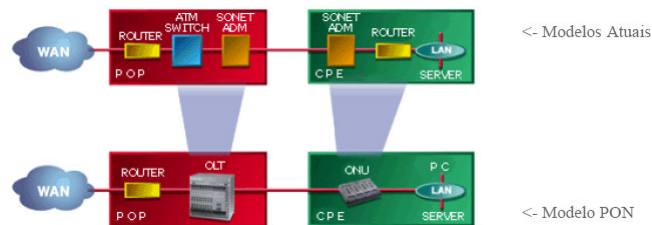
- Converte o sinal óptico das OLT para as portas padrões dos equipamentos de aplicação do usuário final: ATM, Ethernet, IP, etc.



Rede Óptica Passiva - PON

Características:

- A rede PON tem uma arquitetura ponto-multiponto, permitindo que uma única fibra seja compartilhada por múltiplos pontos finais, não existindo elementos ativos entre o equipamento OLT e os elementos ONU's e outras OLT's (os divisores ópticos são elementos passivos).
- Como resultado, tem-se um custo efetivo que representa uma fração pequena dos custos das arquiteturas ópticas atuais: ponto-a-ponto e anéis.



Rede Óptica Passiva - PON

Algumas vantagens da tecnologia PON:

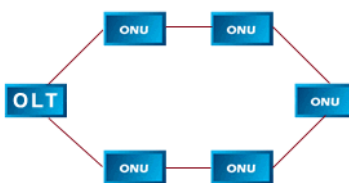
- Baixo custo: por não existir elementos ativos ocorre economia de energia, de espaço entre os sites e de manutenção;
- E feita por compartilhamento da capacidade da fibra óptica;
- Tem grande ganho de escala no atendimento a demanda dos usuários;
- Flexibilidade e otimização do uso da fibra que é conseguido pela alocação dinâmica da banda;
- Diversificação dos serviços;
- Maiores distâncias entre usuário e central, podendo chegar a 20 km.

Rede Óptica Passiva - PON

Topologias:

- **Anel**

- Em uma topologia de rede em anel, duas ONUs são conectadas a uma OLT criando dois segmentos PONs: PON-A e PON-B
- A partir da primeira ONU do segmento PON (A ou B) são conectadas as outras ONUs de maneira serial formando um barramento óptico



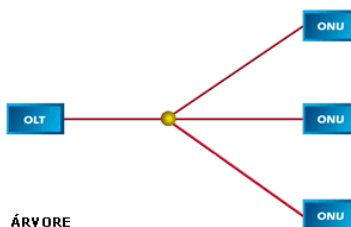
ANEL

Rede Óptica Passiva - PON

Topologias:

- **Árvore**

- Em uma topologia de rede em árvore as ONUs são conectadas a uma OLT por um único segmento PON. A partir dessa OLT conecta-se um segmento de fibra óptica denominado 'Deep Fiber', que então recebe um derivador passivo (splitter).



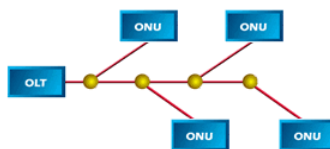
ÁRVORE

Rede Óptica Passiva - PON

Topologias:

- **Barramento**

- Em uma topologia de rede em barramento (BUS) as ONUs são conectadas a uma OLT através de um segmento de fibra óptica 'deep fiber', que então recebe vários derivadores passivos com o fator de derivação de 1:2, criando dois sub-segmentos de fibra. Um dos sub-segmentos serve de conexão para a ONU e o outro como caminho passante para o próximo 'splitter'.

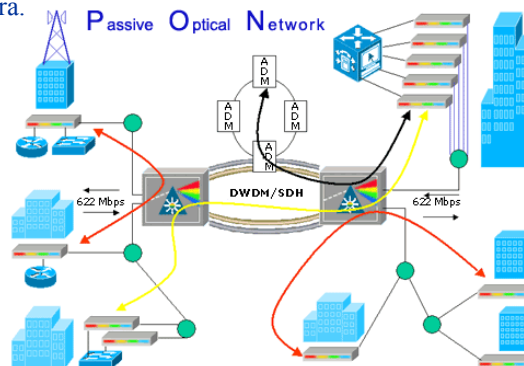


BUS

Rede Óptica Passiva - PON

Topologias:

- Uma planta típica de uma rede PON em operação contempla um misto de topologias de acordo com a estratégia de implantação e com grande flexibilidade de arquitetura.

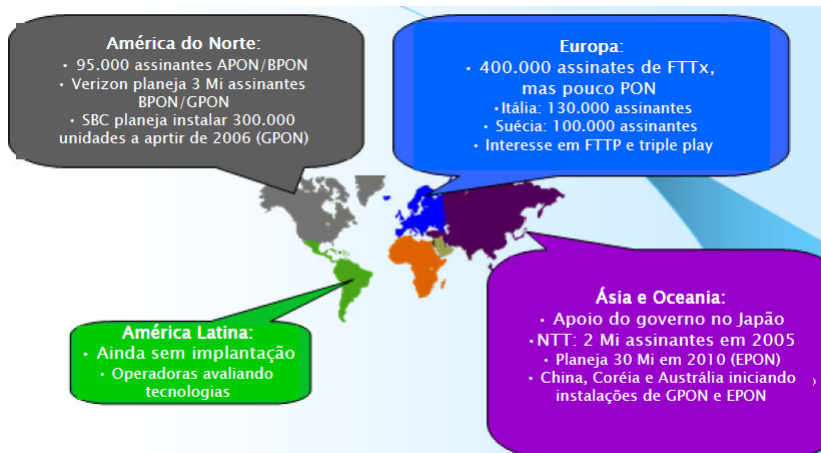


Rede Óptica Passiva - PON

Classificação das redes PON:

- APON – ATM PON (ITU-T G.983)
 - Baseada na tecnologia ATM – 155Mbps a 622 Mbps
- BPON – Broadband PON (ITU-T G.983)
 - Baseada na tecnologia ATM – 155Mbps a 1,25 Gbps
- GPON – Gigabit PON (ITU-T G.984)
 - Baseada nas tecnologias Ethernet / TDM – 622 Mbps a 2,5 Gbps
- EPON – Ethernet PON (IEEE 802.3ah)
 - Baseada na tecnologia Ethernet - 1,25 Gbps

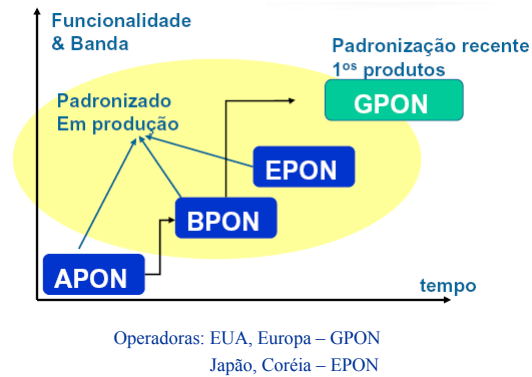
Rede Óptica Passiva - PON



Fonte: Infonetics Research - 2006

Rede Óptica Passiva - PON

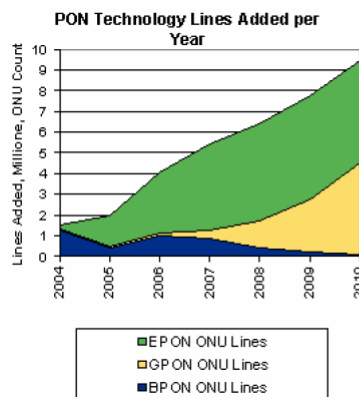
Evolução das redes PON



Fonte: Infonetics Research (* CPqD)

Rede Óptica Passiva - PON

Evolução das redes PON



- ▼ BPON foi instalado no início mas vem gradualmente perdendo mercado
- ▼ Hoje a maior parte do mercado se divide entre GPON e EPON
- ▼ GPON está ganhando mercado na Europa, EUA e Oriente Médio
- ▼ EPON apresenta custo mais baixo e é dominante na Ásia

Fonte: Infonetics Research (* CPqD)

APON – ATM PON

- Padronizado em 1997
- ATM como serviço de transporte
- Na época, o ATM era considerado o melhor sistema de transporte, por suportar simultaneamente voz, dados e vídeo.
- Downstream
 - 155,52 Mbps ou 622,08 Mbps
 - Fluxo contínuo de dados
- Upstream
 - 155,52 Mbps
 - Tráfego em forma de rajadas

BPON – Broadband PON

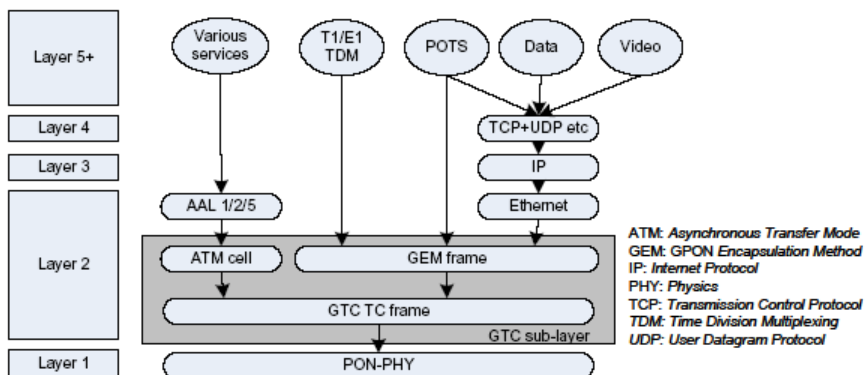
- Padronizado em 1998
- Uma extensão ao APON
- Inclui além do ATM, acesso de banda larga para acesso Ethernet e distribuição de vídeo

GPON – Gigabit PON

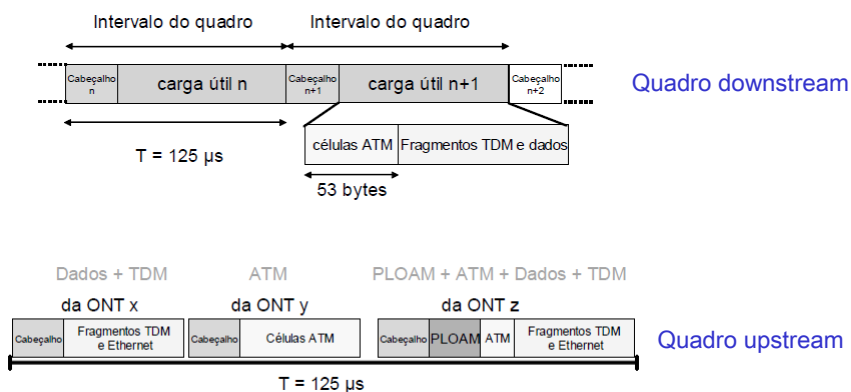
- Padronizado em 2003
- 622 Mbps, 1,25 Gbps - simétrico
- 2,5 Gbps (downstream) e 1,25 Gbps (upstream) assimétrico

GPON – Gigabit PON

Pilha de Protocolos GPON



GPON – Gigabit PON



Fonte: Takeuti

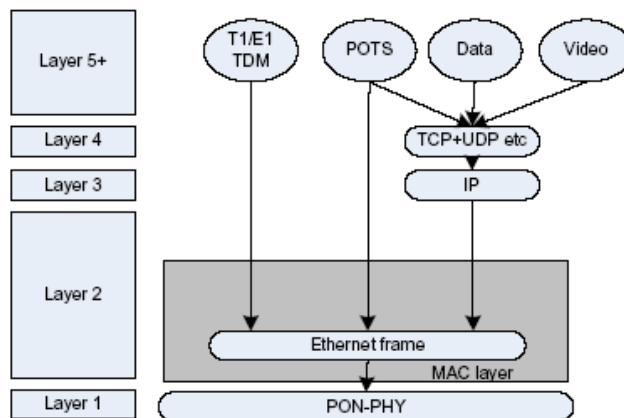
PLOAM - Physical Layer Operation Administration and Maintenance

EPON – Ethernet PON

- Padronizado em 2004
- Realiza um tratamento das informações de modo nativo com as redes Ethernet, sem necessidade de camadas adicionais de protocolo para a extensão dessas redes até o usuário final

EPON – Ethernet PON

Pilha de Protocolos EPON – Ethernet PON



EPON – Ethernet PON

Características

- A estrutura EFMP (Ethernet in the First Mile PON) constitui uma topologia de fibra óptica do tipo ponto-multiponto que permite a velocidade de 1 Gbps para até 20 km.
- A rede EPON é baseada no padrão Ethernet, diferente de outras tecnologias baseadas em ATM, por exemplo.
- Com isto, o custo de implantação é muito menor, além da possibilidade de prover a conectividade simples e a facilidade de administração de sistemas baseados em Ethernet.
- Os equipamentos nas extremidades da rede, ou seja, presentes nas localidades do usuário e do provedor de serviços, são baseados em TCP/IP, fazendo com que seja bem apropriado suportar um tráfego de dados em pacotes, que é dominante na camada de acesso, como também nos *streams* de voz e vídeo.

EPON – Ethernet PON

Características

- O padrão que define as características das redes EPON é o IEEE 802.3ah.
- Nele estão descritos o Protocolo de Controle Multiponto (MPCP), a Emulação Ponto a Ponto (P2PE), e os padrões da camada física para os comprimentos de onda de 1490 e 1310 nm para 10 e 20 km, necessários para compor um sistema EPON.
- Sistemas típicos baseados em EPON podem incluir características extras ao padrão IEEE 802.3ah, relacionadas a segurança, autenticação e alocação dinâmica da largura de banda.

EPON – Ethernet PON

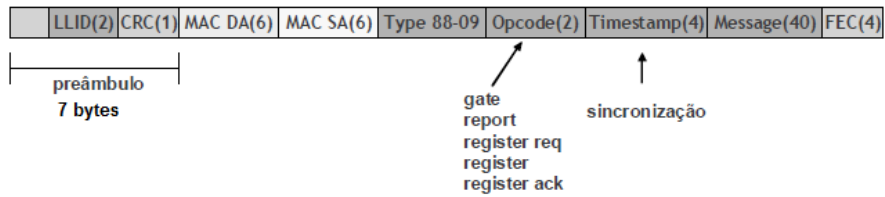
Configuração do Sistema

- As redes EPON são configuradas no modo full-duplex (não há CSMA/CD) em uma topologia de fibra única ponto-multiponto (P2MP).
- Usuários, ou ONUs, só enxergam o tráfego no *headend*; cada usuário não enxerga o tráfego transmitido por outros usuários, e a comunicação *peer-to-peer* é terminada no *headend*, ou OLT.
- O *headend* só permite o acesso de um usuário por vez, utilizando o protocolo de Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo (TDMA).

EPON – Ethernet PON

O formato do quadro

- Tamanho mínimo 64 bytes



LLID - Logical Link Identification

EPON – Ethernet PON

O formato do quadro

LLID - Logical Link Identification - identifica a ONU

CRC - código polinomial para detecção de erro

DA - Destination address

SA - Sender address

Length/Type (2 bytes) - Indica o tipo e o tamanho do campo de dados

Timestamp - sincronização

FEC - Frame Error Check

EPON – Ethernet PON

O formato do quadro

Opcode

- GATE – enviada pelo OLT – Indica a cada ONU o instante em que pode iniciar uma transmissão e a respectiva duração
- REPORT – enviada pelo ONU – Notifica o OLT de pedidos de transmissão pendentes – Indica ao OLT o estado do ONU
 - Marcas temporais (timestamps) para sincronização
 - Pedidos de largura de banda adicional
- REGISTER_REQ – enviada pelo ONU – Solicita que o ONU seja reconhecido pelo protocolo para participar no mecanismo de transmissão (arbitrado pelas mensagens GATE)
- REGISTER – enviada pelo OLT – Notifica o ONU respectivo que foi reconhecido pelo protocolo para participar no mecanismo de transmissão
- REGISTER_ACK – enviada pelo ONU – Notifica o OLT que o ONU confirma participação no mecanismo de transmissão

EPON – Ethernet PON

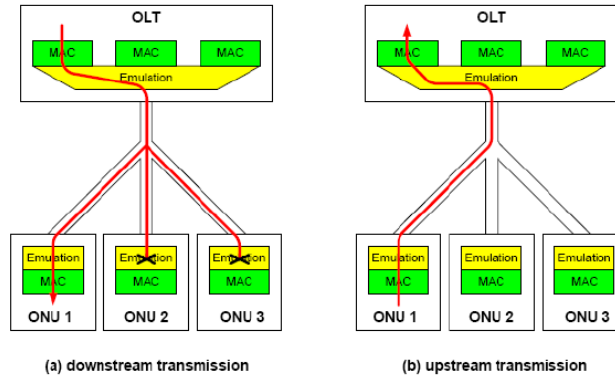
O formato do quadro

Opcode

- O campo Opcode permite a implementação de MPCP - Multi-Point Control Protocol, que é de responsabilidade da subcamada MAC.
- Protocolo de múltiplo acesso que determina quem tem direito de uso do canal.

EPON – Ethernet PON

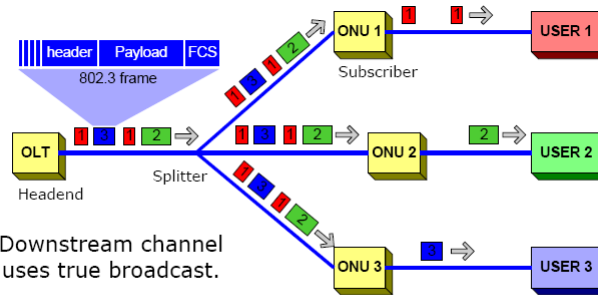
Emulação de ligações ponto-a-ponto, através dos 2 bytes do campo LLID



EPON – Ethernet PON

Downstream EPON

- No sentido *downstream*, o sistema EPON controla a difusão física de quadros 802.3. O sinal é criptografado para garantir segurança.

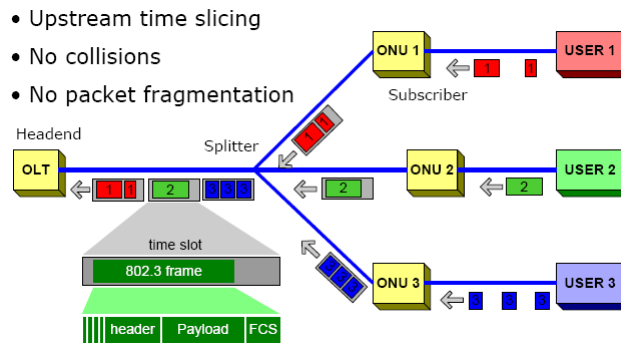


- Downstream channel uses true broadcast.
- 802.3 Frames extracted by MAC addresses.

EPON – Ethernet PON

Upstream EPON

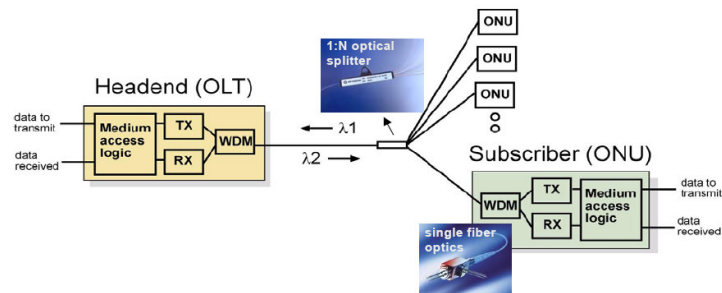
- O MPCP utiliza os *time slots* que contêm múltiplos quadros 802.3, onde cada ONU envia uma mensagem REPORT de 64 bytes, informando seu estado para o OLT. (Não há colisões e nem fragmentação de pacotes)



EPON – Ethernet PON

Configuração do Sistema

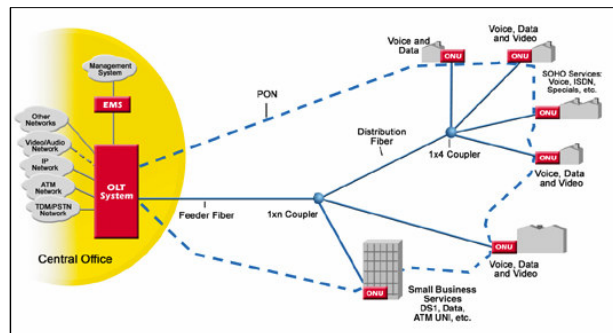
- Os sistemas EPON utilizam uma arquitetura de *splitter* óptico, multiplexando sinais com diferentes comprimentos de onda para *upstream* (1310 nm) e *downstream* (1490 nm).



EPON – Ethernet PON

Topologias:

- As redes EPON têm tipicamente uma topologia em árvore ou em ramos, utilizando 1:N splitters ópticos passivos.



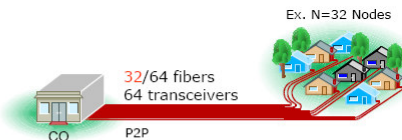
EPON – Ethernet PON

EFMP (Ethernet in the First Mile PON)

- Comparação entre as diversas redes ponto a ponto com a estrutura EPON

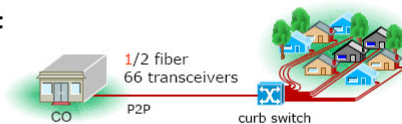
Point to Point Ethernet

- N fibers
- 2N optical transceivers



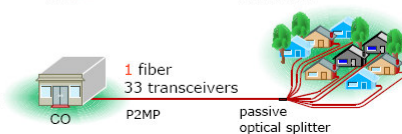
Curb Switched Ethernet

- 1 fiber
- Minimum fiber/space in CO
- 2N+2 optical transceivers
- Electrical power in the field



Ethernet PON (EPON)

- 1 fiber
- Minimum fibers/space in CO
- N+1 optical transceivers
- No electrical power in field
- Drop throughput up to trunk rate
- Downstream broadcast (video)



Rede Óptica Passiva - PON

Referências:

Projeto e Dimensionamento de Redes Ópticas Passivas - Paulo Takeuti
Dissertação de mestrado - 2005
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-22092005-205226/>
Acessado em 12/05/2010

IEEE 802.17 (RPR)

RPR – Resilient Packet Ring

Características

- Tecnologia normalizada IEEE 802.17, utilizada na infra-estrutura das redes de transporte que suporta serviços convergentes, oferecendo ótima relação custo-benefício.
 - Tira partido da infra-estrutura instalada de anéis SONET/SDH, embora possa ser usada com outras camadas físicas (GbE, 10GbE, WDM)
- O RPR possui o melhor da Ethernet:
 - IP Layer transparente; baixo custo; banda compartilhada dinamicamente por múltiplos usuários; escalabilidade dinâmica.
- Adicionando o melhor da SDH/SONET:
 - Uso eficiente da infra-estrutura de fibra; gerência centralizada para o custo efetivo das operações de rede; qualidade de serviço e disponibilidade com mecanismos de proteção velozes e existência de infra-estrutura padronizada.

RPR – Resilient Packet Ring

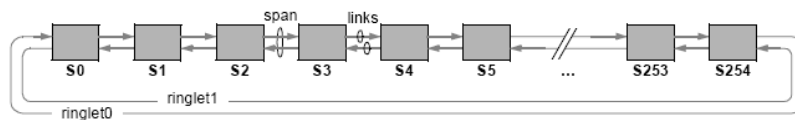
Características

- Anel duplo – *dual counter rotating ring*
 - Ambos os anéis transportam tráfego (ao contrário de FDDI ou de anéis SONET/SDH em que 50% da capacidade é reservada para proteção)
- Cada nó seleciona o anel que oferece o percurso mais curto para o destino
 - Os nós mantêm um mapa topológico da rede, sendo a topologia da rede descoberta com base em tráfego de controle
 - Os pacotes de controle são usados para descoberta da topologia, para proteção inteligente e controle da largura de banda
- Esquemas de proteção (reconfiguração)
 - *Wrapping*
 - *Steering*
 - *Passthrough*

RPR – Resilient Packet Ring

Características

- A solução RPR é baseada em uma estrutura dupla de anel de fibra, com dois sentidos opostos de tráfego de dados: o anel interno com sentido anti-horário e o anel externo com sentido horário.
- Para maximizar o tráfego de dados e a eficiência da estrutura, os dois anéis podem ser utilizados em sua máxima capacidade de transmissão, dobrando efetivamente sua capacidade total



RPR – Resilient Packet Ring

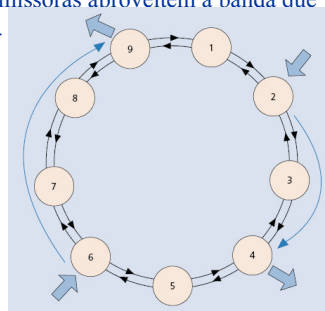
Características

- As redes RPR são constituídas por, no máximo, 255 estações interligadas por dois anéis (*ringlets*) de fibra óptica, sendo que os dados trafegam em direções opostas em cada um.
- A estação transmissora decide em qual *ringlet* os dados serão transmitidos para o receptor, geralmente utilizando o menor caminho.
- Se uma estação não reconhece o endereço de destino de um quadro, então ele é repassado para a estação seguinte. O *Time-To-Live* (TTL) limita a circulação de quadros com endereços de destino desconhecidos.
- No RPR, os métodos de transmissão de quadros suportados são o *cut-through*, no qual eles começam a ser repassados antes de serem completamente recebidos, e o *store-and-forward*, que os armazena antes de repassar.

RPR – Resilient Packet Ring

Reuso Espacial

- Quando uma estação RPR destino recebe um quadro, ele é removido (diferentemente de outras redes em anel, nas quais seu conteúdo é copiado e ele percorre o anel até retornar à estação de origem)
- Esta remoção permite que outras estações transmissoras aproveitem a banda que seria ocupada pelo quadro no caminho de volta.



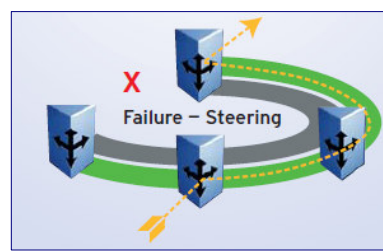
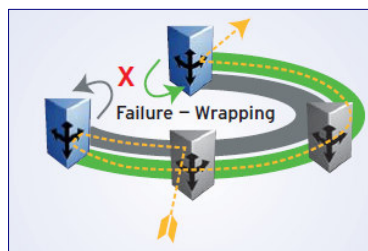
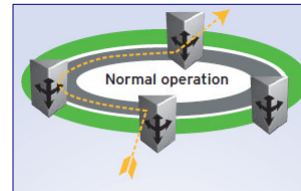
RPR – Resilient Packet Ring

Mecanismo de Proteção (Resiliência)

- A resiliência do RPR está baseada no mecanismo de proteção que, segundo o padrão, é rápido, robusto, flexível e eficiente.
- O anel duplo provê um caminho alternativo no caso de colapso de um enlace ou de uma estação, e os métodos de resposta a falhas incluem:
 - *Steering*: é obrigatório, no caso de falhas redireciona o tráfego protegido pelo laço ainda conectado ao destino.
 - *Wrapping*: é opcional, redireciona o tráfego protegido pelo *ringlet* oposto em caso de falhas, fechando o laço no ponto de ruptura.
 - *Passthrough*: é opcional, torna uma estação transparente caso a própria estação com problema tenha detectado internamente a falha. A estação se torna uma simples fila FIFO.

RPR – Resilient Packet Ring

Mecanismo de Proteção (Resiliência)



RPR – Resilient Packet Ring

Método de Acesso ao Meio

- As estações no anel RPR implementam um protocolo para o seu controle de acesso ao meio (MAC).
 - Neste protocolo, várias interfaces de camadas físicas (subcamadas) para Ethernet e SONET/SDH são definidas.
 - Além disso, o MAC também define pontos de acesso que estações clientes podem requisitar para a transmissão e recepção de quadros e informação de estado.
- O RPR provê um esquema de prioridade de acesso baseado em três níveis de classes. Destas três classes, duas ainda se subdividem para formação de subclasses. Cada classe possui conformadores de tráfego separados para cada anel, objetivando o controle de fluxo.

RPR – Resilient Packet Ring

Método de Acesso ao Meio

- As características de cada classe e suas respectivas subclasses:

Classe	Exemplo de uso	CLASSE DE SERVIÇO		QUALIDADE DE SERVIÇO			
		Subclasse	Banda garantida	Variação de atraso	Banda		Fairness elegible
					Tipo	Subtipo	
A	Tempo real	A0	Sim	Baixo	Alocado	Reservado	Não
		A1	Sim	Baixo	Alocado	Requisitado	Não
B	Quase tempo real	B-CIR	Sim	Vinculado	Alocado	Requisitado	Não
		E-CIR	Não	Não vinculado	Oportunístico	Requisitado	Sim
C	Melhor Esforço	-	Não	Não vinculado	Oportunístico	Requisitado	Sim

RPR – Resilient Packet Ring

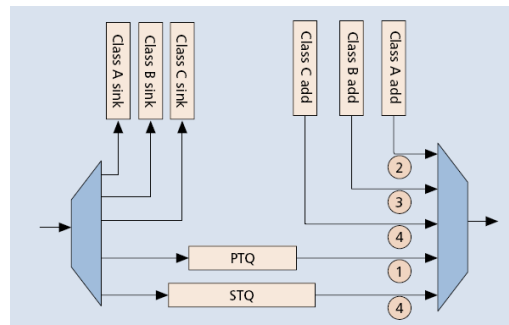
Método de Acesso ao Meio

- A subcamada MAC também provê filas para entrada de dados e de trânsito. O padrão define três filas de entrada de dados (uma para cada classe) e uma ou duas de trânsito - *Primary Transit Queue* (PTQ) e *Secondary Transit Queue* (STQ).
- Na solução com duas filas de trânsito, os quadros de alta prioridade (classe A) são enfileirados na PTQ e os de menor prioridade (classes B e C) são enfileirados na STQ.
- O repasse de quadros da PTQ tem prioridade sobre os quadros da STQ e sobre o da maioria dos tipos de quadros introduzidos pela estação.
- Assim, um quadro da classe A não vai sofrer muito mais do que o atraso de propagação e alguns atrasos ocasionais nas filas de trânsito. Já os da STQ tem prioridade sobre os das filas de entrada das classes B e C.

RPR – Resilient Packet Ring

Método de Acesso ao Meio

- Interface do anel com três filas de egresso de quadros e duas para trânsito.
 - Os números indicam a prioridade que as filas teriam no enlace de transmissão.



RPR – Resilient Packet Ring

Algoritmo *Fairness*

- O objetivo do algoritmo *fairness* é distribuir de forma justa a banda não utilizada (com exceção da banda alocada para a subclasse A), entre as estações que compõem o anel RPR, para o tráfego de dados das classes B-EIR e C.
- Quando o enlace de saída de uma estação estiver congestionado, o algoritmo envia uma mensagem *fairness* para o enlace oposto do anel.
 - As estações que receberem esta mensagem devem diminuir a sua taxa de envio de acordo com o que está especificado na mensagem.
 - Esta taxa foi calculada para uma justa distribuição da banda do enlace na estação onde ocorreu o congestionamento.

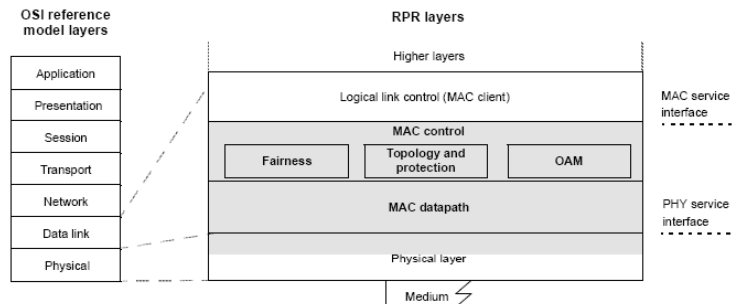
RPR – Resilient Packet Ring

Camada Física

- Para que o RPR fosse rapidamente desenvolvido e utilizado, não foi criada nenhuma nova tecnologia para a camada física.
 - Para suporte nesta camada, o padrão pode utilizar tanto SONET/SDH como GE e 10GE, ambos com fibra óptica. Foram apenas definidas subcamadas de reconciliação, que fazem o mapeamento destas tecnologias da camada física com a de controle de acesso ao meio.
- Para a utilização de RPR sobre as redes nativas GE e 10GE são necessárias algumas exceções e mudanças em relação às especificações nativas:
 - Não podem ser utilizados repetidores;
 - Quadros com tamanho mínimo de 16 e máximo de 9.216 bytes;
 - Não é utilizada a autonegociação (transmissão é sempre *full-duplex*); e
 - Controle de fluxo é desabilitado [O'Connor and Bruckman, 2002]

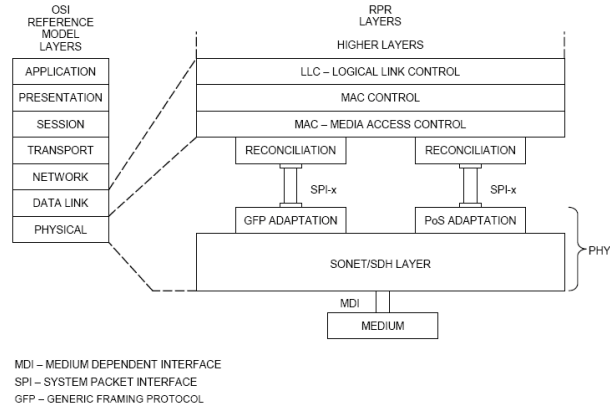
RPR – Resilient Packet Ring

Relação entre camadas OSI e RPR



RPR – Resilient Packet Ring

Arquitetura RPR sobre SONET/SDH



RPR – Resilient Packet Ring

Arquitetura RPR sobre Gigabit Ethernet

