

# 10 Gigabit Ethernet em Backbones

Giovane C. M. Moura<sup>1</sup>, Alex F. dos Santos<sup>1</sup>, José Rafael X. dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil

{gcmmoura, afsantos, jsantos}@inf.ufrgs.br

**Resumo.** *Este artigo trata do uso de 10 Gigabit Ethernet em backbones. Para tanto, o IEEE propôs no padrão 802.3ae o WAN PHY, que é uma forma de acesso físico que visa conectar diferentes WANs. WAN PHY não estabelece uma forma única de interconexão. Nosso objetivo é mostrar quais são as formas mais utilizadas em backbones, segundo fatores econômicos e técnicos, e quais são as implicações que cada abordagem apresenta.*

## 1. Introdução

O *Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network/* (SDH/SONET) é uma tecnologia de comunicação digital que faz uso de fibra óptica como meio físico. O SDH foi padronizado em 1985 pelo *International Telecommunication Union* (ITU) para substituir os antigos sistemas *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH) no transporte de voz e dados. Esta arquitetura é baseada em comutação de circuitos, ou seja, não foi originalmente concebida para tratar de pacotes. Para transportar pacotes, a forma mais comum é o uso da tecnologia *Packet-Over-Sonet*, (POS) [Cisco 2006]. POS é atualmente a tecnologia predominante nos roteadores dos backbones [Meirosu et al. 2005] para tráfego de pacotes IP.

Ethernet [Metcalfe and Boggs 1976], uma tecnologia originalmente voltada para redes locais (LAN), vem ganhando espaço em redes metropolitanas e redes de longo alcance (WAN e MAN), principalmente com o advento da 10 Gigabit Ethernet e seu padrão WAN PHY, que permite interconexão entre LAN e WAN. Com o 10 Gigabit Ethernet, pode-se ter uma backbone Ethernet “puro”, independente de SDH. Porém o 10 Gigabit Ethernet consegue operar com SDH, para lidar com este sistema legado. Além do uso de Ethernet em backbones, pode-se ter o uso também na última milha WAN, parte da rede onde é feita conexão entre o *Network Service Provider* (NSP) e o cliente. Neste cenário, temos como solução mais comum o uso de linhas dedicadas, ATM, Frame Relay e xDSL.

O objetivo deste estudo é mostrar como a tecnologia 10 Gigabit Ethernet pode ser utilizada em novos backbones, bem como sua interoperação com as tecnologias existentes nos backbones SDH em operação. Além disso, mostramos uma comparação das diferentes abordagens.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma: na Seção 2, mostramos a evolução da Ethernet culminando no padrão WAN PHY do IEEE 802.3ae. Na Seção 3 mostramos como a 10 Gigabit Ethernet pode ser usada em backbones, bem como as peculiaridades de cada abordagem e uma análise comparativa entre elas. Por fim, na Seção 4 apresentamos as considerações finais acerca deste trabalho.

## 2. Uma Retrospectiva da Ethernet

Proposta na década de 70 por Metcalfe e Boggs, a Ethernet, situada nas camadas 1 e 2 do modelo de referência OSI, teve seu nome escolhido a partir da palavra *ether*, uma referência ao meio físico, na época o cabo coaxial pelo qual todos os nós se conectavam. Na década de 1980, a Ethernet foi definida como um padrão aberto por um consórcio de empresas, incluindo Xerox, Digital e Intel. Na mesma época, a Ethernet se tornou conhecida como um padrão do IEEE, o IEEE 802.3 [802 1985].

Inicialmente com taxa de transmissão de 10 Mbit/s no padrão IEEE 802.3, a Ethernet evoluiu para Fast Ethernet com 100 Mbit/s e hoje suporta até 10 Gbit/s. Além das diferentes taxas de transmissão, esse padrão também evoluiu para suportar vários meios de transmissão e diversas topologias. A Tabela 2 mostra algumas das versões do padrão 802.3 e suas características.

Padrão	Ano	Descrição
IEEE 802.3	1983	10 Mbit/s em cabo coaxial
802.3i	1990	10BaseT, 10 Mbit/s em cabo de par trançado
802.3j	1993	10BaseF, 10 Mbit/s sobre fibra óptica
802.3u	1995	Padrão Fast Ethernet, de 100 Mbit/s
802.3z	1998	1000BaseT, 1 Gbit/s em par trançado
802.3ae	2003	10 Gbit/s com LAN PHY e WAN PHY
802.3av	em estudo	10 Gbit/s EPON (Ethernet Passive Optical Network)

**Tabela 1. Evolução do padrão IEEE 802.3**

Com tantas melhorias, a Ethernet passou a ser vista como uma nova solução para MAN e WAN, e é estimado que 90% do tráfego de dados se inicie ou termine em LANs Ethernet [Chiruvolu et al. 2004]. Com tamanha infra-estrutura implantada nas redes locais, uma conexão com o NSP seria bem mais simples utilizando Ethernet, já que não haveria necessidade de conversão para outras plataformas (como Frame Relay, ATM, SONET/SDH etc.), permitindo a comutação de quadros no nível 2 do modelo OSI. A extensão dessa abordagem é o uso de Ethernet Gigabit também no backbone da rede.

### 2.1. 10 Gigabit Ethernet WAN PHY

Em 2002 foi lançado o padrão IEEE 802.3ae [802 2002], que estabeleceu uma taxa de transmissão de 10 Gbit/s para a Ethernet. Além disso, este padrão fornecia subsídios à utilização da Ethernet em backbones.

Todos os outros padrões IEEE 802.3 anteriores incluíam no subnível de acesso ao meio (MAC) o suporte ao *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* (CSMA/CD), um protocolo necessário quando diversos nós compartilham o mesmo meio. Com este protocolo, os nós, antes de transmitir, verificam se o meio está livre de outras transmissões. Caso positivo, se dá início à transmissão, senão ele deve aguardar. O modo de transmissão nesses casos é *half-duplex*. Isso praticamente restringia o uso de Ethernet em LAN.

Já no padrão IEEE 802.3ae o CSMA/CD foi removido, visto que este padrão é projetado para uso exclusivo do meio, com *full-duplex* e ponto-a-ponto, ao contrário das versões anteriores, com meio compartilhado.

Existem diversos padrões para o nível físico (PHY) do IEEE 802.3ae. Dentre eles, dois notáveis são: LAN PHY e WAN PHY. LAN PHY é a variedade mais comum, utilizada para conexão entre *switches* e roteadores. Apesar de ser chamada de LAN, pode ser utilizada com a modalidade 10GBase-LR e 10GBase-ER e se estender por até 80 km. O LAN PHY tem uma taxa nominal de 10,3 Gbit/s [802 2002].

O WAN PHY foi projetado visando facilitar a operação com backbones SDH. Para tal, possui taxa de transmissão de 9,58464 Gbit/s e faz uso do formato de quadro do STS-192c/VC-4-64c [Meirosu et al. 2005]. O WAN PHY é utilizado por usuários que desejam transmitir à taxa nominal de 10 Gbit/s em SDH ou sistemas de *wave division multiplexing* (WDM), sem ter que mapear os quadros Ethernet no formato de SDH. É importante observar que, mesmo apesar dessas características, o padrão IEEE 802.3ae não garante interoperabilidade irrestrita com os equipamentos SDH, devido a natureza síncrona dos mesmos. Esta operação requer conformação total ao padrão SDH em relação a requisitos ópticos, elétricos e lógicos, e desta forma, foge do escopo do 802.3ae [Meirosu et al. 2005].

### **3. Backbone 10 Gigabit Ethernet**

Existem três abordagens básicas para o uso de 10 Gigabit Ethernet em backbones. Essa seção trata destas opções bem como suas características peculiares, além de estabelecer um comparativo.

#### **3.1. Ethernet over Fiber (EoF)**

Esta abordagem é marcada pelo uso exclusivo de Ethernet na transmissão dos dados no nível 1 e 2 do modelo de referência OSI. A idéia é conectar diversos nós com *switches* gigabit gerenciáveis. Desta forma poderíamos evitar o uso de SDH e quaisquer outras tecnologias de nível 1, como linhas dedicadas.

Porém esta abordagem é restrita por uma série de fatores. No aspecto técnico, o padrão IEEE 802.3ae afirma a cobertura de até 40 km de área com WAN PHY e fibra monomodo (apesar de testes terem sido feitos e se atingiu uma extensão de 250 km com o uso de repetidores ópticos [Olesen 2003]). Um backbone internacional ainda não seria viável desta maneira. Outro aspecto, não menos importante, é o econômico. Os NSPs já possuem um backbone implantado, e não podem simplesmente descartar toda a malha existente. A idéia então, é implantar gradativamente o EoF nos cenários onde for possível e viável.

Sob o ponto de vista da Engenharia de Tráfego, uma implementação possível é a marcação do tráfego de cada cliente com *tags* que indiquem uma *Virtual LAN* (VLAN). Cada VLAN tem uma taxa mínima garantida, conhecida com CIR, e uma taxa máxima PIR, para tráfego máximo. Em caso de falha do enlace, as conexões são restauradas com o uso do *Resource Reservation Protocol* (RSVP), em valores no geral acima de 50 ms [Bellsouth 2006].

#### **3.2. Ethernet Over Sonet (EoS)**

SDH é tecnologia mais utilizada em backbones. Devido a este fato, há um grande interesse em aproveitar a infra-estrutura existente para o transporte de quadros Ethernet. EoS

reaproveita a estrutura SDH e fornecer capacidade de transporte com excelente capacidade de Operação, Administração e Manutenção (OAM) [Ramamurti et al. 2004].

A Ethernet beneficia-se das vantagens do SDH no transporte de seus quadros, incluindo [Bellsouth 2006]:

- **Baixa latência**, visto que a buferização é realizada apenas nos roteadores de entrada ou saída;
- **Resiliência e Restauração**, onde essas redes conseguem-se recuperar em até 50 ms em caso de queda do enlace;
- **Qualidade de Serviço**, por se tratar de um serviço síncrono com *Time-division multiplexing*.

As operadoras telefônicas geralmente fornecem a seus clientes a opção de aquisição de canais dedicados ou compartilhados. Outra possível combinação é EoS com WDM, onde vários sinais EoS são multiplexados numa única fibra.

Ramamurti [Ramamurti et al. 2004] discute questões que vêm a tona quando se realiza uma EoS numa conexão ponto-a-ponto. Entre os problemas, inclui-se o transporte não transparente de informação Ethernet, falta de uma ferramenta à altura das operadoras para monitorar o desempenho e também o monitoramento de propagação de falhas.

### 3.3. Ethernet Over WDM (EoW)

WDM é uma tecnologia que permite a multiplexação de sinais ópticos em uma única fibra, usando para isso, diferentes comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de laser para cada sinal. Desta forma, é possível transmitir vários sinais em uma mesma fibra, multiplicando a capacidade de transmissão e adicionando a habilidade de comunicação bidirecional. Isto é uma vantagem grande para as operadoras, pois permite aumento da taxa de transmissão sem ter que estender mais fibra óptica.

Sistemas WDM são classificados em duas categorias: *Coarse* WDM (CWDM) e *Dense* WDM (DWDM). CWDM são sistemas que multiplexam até 8 comprimentos de onda ( $\lambda$ ) distintos por fibra, enquanto os DWDM multiplexam mais de 8  $\lambda$ .

EoW é a última palavra para o fornecimento de largura de banda em Ethernet. Suas aplicações incluem conexão entre data centers e transporte de vídeo. EoW, assim como EoS, fornece o tempo de restauração de até 50 ms ou menos e apresenta uma latência muito baixa.

EoW foi testado por Meirosu [Meirosu et al. 2005]. O teste foi realizado entre a rede de pesquisa holandesa, SURFNet, e o CERN, organização européia para pesquisas nucleares, em Genebra, durante 6 semanas em 2003. Eles começaram caracterizando a linha, transmitindo quadros de 1518 e 64 bytes. Esse teste durou 91 h. Eles verificaram uma taxa de erro de  $10^{-15}$ , 3 ordens de magnitude menor que o especificado pelo padrão. A vazão foi de 9 Gbit/s em um enlace de 10 Gbit/s, no cenário em questão. A latência verificada foi de 17.08 ms.

Já no projeto do observatório oceânico NEPTUNE [Maffei and et al. 2003], que inclui uma rede submarina de 3200 km de extensão, foi realizado um vasto estudo com as tecnologias existentes e a combinação escolhida foi EoW.

Atributo	EoF	EoS	EoW
Qualidade de serviço	Igual a CIR e PIR	Garantida	Garantida
Restauração	100 ms	10 - 50 ms	50 ms
Latência	Média	Baixa	Baixa
Ponto-a-Ponto	Sim	Sim	Sim
Multiponto-a-Multiponto	Sim	Sim	Não
Vantagens	Baixo custo Suporte a Multiponto	Resiliência Baixa latência	Maior taxa de transmissão Baixa latência
Desvantagens	Baixo alcance		Maior custo

**Tabela 2. Comparativo entre opções de Ethernet.**

### 3.4. Análise Comparativa

As tecnologias EoF, EoS e EoW foram apresentadas como modos de uso de Ethernet em backbones. Cada uma delas têm suas peculiaridades, e uma comparação se faz necessária.

EoF é voltado ao uso de Gigabit Ethernet “puro”, sem a necessidade de operar com outras tecnologias, porém é restrito a um alcance de 40 Km. Já o EoS é uma alternativa que leva em consideração a malha SDH existente. Desta forma, os quadros Ethernet são apenas mais um tipo de dado para SDH, se beneficiando de baixa latência, resiliência e qualidade de serviço. No entanto, o EoS é um transporte não transparente, e tem-se uma carência de ferramentas de gerência. Já o EoW é a modalidade que permite a maior taxa de transmissão, com o uso de diversos  $\lambda$ , sendo infelizmente a tecnologia mais cara. A Tabela 3.3 sumariza o comparativo.

## 4. Conclusão

Ethernet, uma tecnologia que surgiu na década de 70 para redes locais, tornou-se ubíqua e teve seu uso estendido para MAN e WAN graças aos avanços do padrão IEEE 802.3. O estudo foi embasado na versão 802.3ae do padrão, como foco em sua interface WAN PHY, para conexões *full-duplex* ponto-a-ponto.

Foram exibidas diferentes formas de utilização de Ethernet em backbones: puramente sobre fibra (EoF), utilizando sistemas SDH (EoS) ou ainda com WDW (EoW). Mostrou-se também as características que cada abordagem oferece bem como suas conseqüências.

O estudo mostra que não existe uma única escolha ideal para todos os cenários. Diversos fatores devem ser analisados, como malha do NSP instalada, aplicação do cliente e necessidade de taxa de transmissão para determinar a melhor solução.

Por fim conclui-se que a Ethernet mantém suas características mais importantes: a simplicidade e flexibilidade. Desta forma, 10 Gigabit Ethernet pode operar de diversas maneiras e fica a cargo dos responsáveis pela rede determinarem qual a melhor solução para cada cenário em particular.

## Referências

(1985). *IEEE standards for local area networks: carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*. IEEE.

- (2002). *IEEE Std. 802.3ae-2002 Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers and Management for 10 Gb/s Operation*. IEEE.
- Bellsouth (2006). Carrier Ethernet - Defined. A comparison of the key WAN transport methods now available for delivering high-value Ethernet Services. <http://contact.bellsouth.com/business/find/viewdoc.asp?doc=BB2121&refer=8>.
- Chiruvolu, G., Ge, A., Elie-Dit-Cosaque, D., Ali, M., and Rouyer, J. (2004). Issues and approaches on extending Ethernet beyond LANs. *Communications Magazine, IEEE*, 42(3):80–86.
- Cisco (2006). Packet-Over-SONET/SDH. <http://whitepapers.silicon.com/>.
- Maffei, A. and et al., A. C. (2003). A modular Gigabit Ethernet backbone for NEPTUNE and other ocean observatories. *Proceedings of the Third International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies*, 25(27):191–196.
- Meirosu, C., Golonka, P., Hirstius, A., Stancu, S., Dobinson, B., Radius, E., Antony, A., Dijkstra, F., Blom, J., and de Laat, C. (2005). Native 10 gigabit ethernet experiments over long distances. *Future Gener. Comput. Syst.*, 21(4):457–468.
- Metcalfe, R. M. and Boggs, D. R. (1976). Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks. *Communications of the ACM*, 19(7):395–404.
- Olesen, M. (2003). The use of dark fibers in Forskningsnettet. *Proceedings of the 21st NORDUnet Network Conference*, 1:20–28.
- Ramamurti, V., Siwko, J., Young, G., and Pepe, M. (2004). Initial implementations of point-to-point Ethernet over SONET/SDH transport. *Communications Magazine, IEEE*, 42(3):64–70.