

# Redes Ópticas

## Redes WAN de Banda Larga

Amaury Krueel Budri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CECS  
UFABC

Redes WAN de Banda Larga

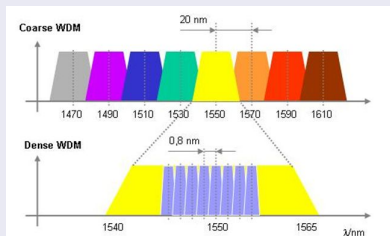
# Sumário - Áudio: Tec3intro.mp3

- 1 WDM
- 2 OTN
  - Introdução
  - Multiplexação
- 3 MPLS
  - Modelo de Referência MPLS
  - LSP
- 4 GMPLS e ASON
  - GMPLS
  - ASON

# WDM - Áudio:Tec3wdm.mp3

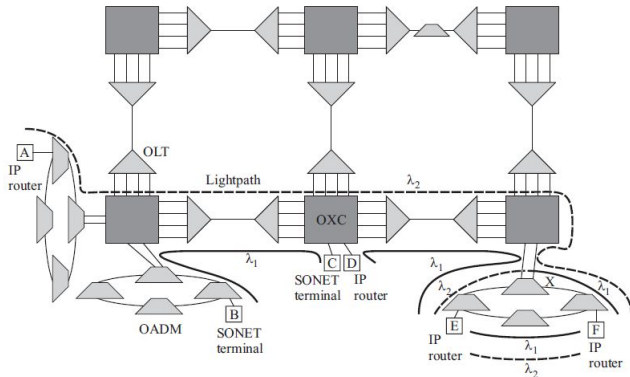
## DWDM e CWDM

- Coarse WDM - Redes locais de baixo custo
  - Grid de 18 x 20 nm entre
- Dense WDM - Redes de longa distância de alto custo
  - Grid de 50 (40) x 0,8nm nas bandas C, L, S
  - Amplificadores de érbio.



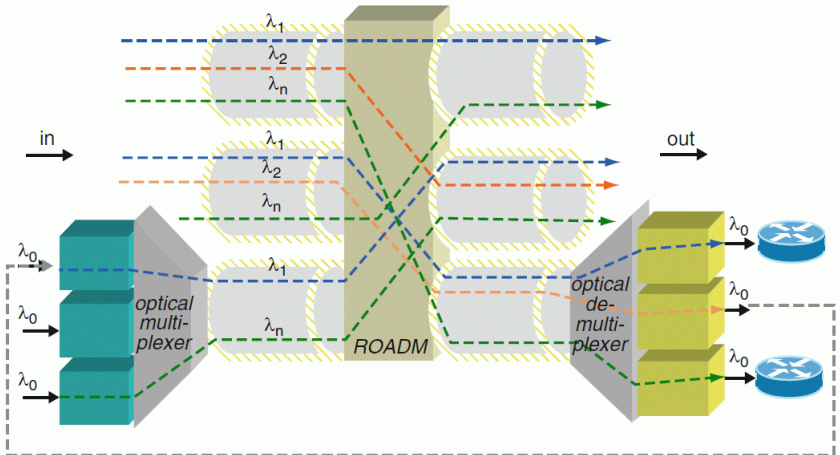
# Rede WDM - Áudio: Tec3wdmtopo.mp3

## Topologia WDM



# ROADM - Áudio:Tec3roadm.mp3

## ROADM



# Elementos - Áudio: Tec3wdm1em.mp3

## Elementos da Rede

- OLT - Equipamento terminal de linha
- OADM - Inserção e extração de  $\lambda$
- ROADM - OADM reconfigurável
- OXC - Comutador óptico

# OTN x SDH

- Áudio: Tec3otnsdh.mp3

## Optical Transport Network G.709

- É menos complexa que SONET/SDH.
- Orientado para WDM. Overhead otimizado para DWDM
- Granularidade da ordem de uma ou duas vezes superior à do SONET/SDH. Mais escalabilidade para altas taxas.
- Admite diferentes clientes Ethernet e storage area network (SAN) de forma transparente
- Gerência integrada.
- OTN possui forward error correction (FEC) integrado.
- Mapeamento síncrono ou assíncrono.

# Elementos - Áudio: Tec3otntax.mp3

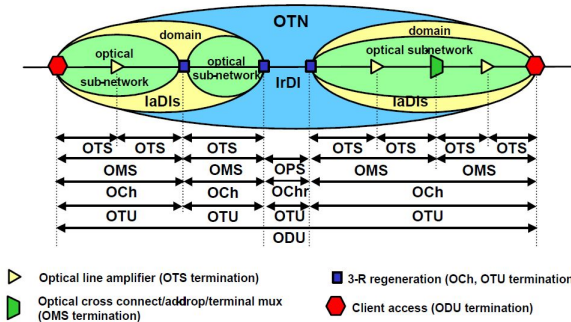
## Elementos do Modelo OTN

- Domínio Elétrico
  - Optical Channel Payload Unit (OPU) (path section)
  - Client signal Optical Channel Data Unit (ODU) (multiplex section)
  - Optical Channel Transport Unit (OTU) (regenerator section)
- Domínio Óptico
  - Optical Channel (OCh) ( $\lambda$ )
  - Optical Multiplex Unit (OMU) (WDM + optical supervisory channel (OSC))
  - Optical Domain Optical Transport Module (OTM)



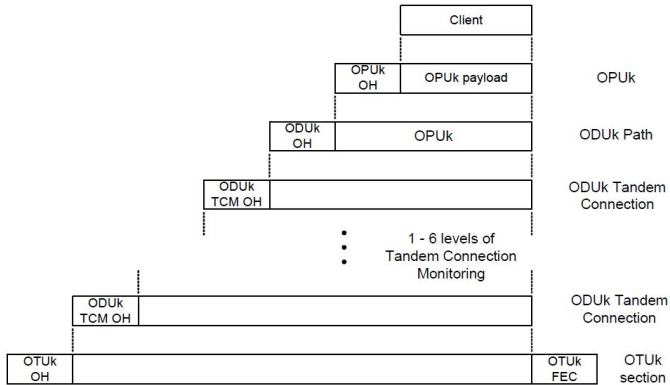
Modelo - Áudio:Tec3otnref.mp3

## Modelo de Referência



Quadros - Áudio: Tec3otnquadro.mp3

## Formação dos Quadros



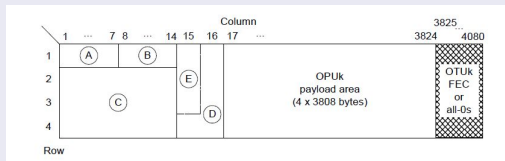
## OTU - Áudio: Tec3otucap.mp3

### Capacidade dos OTU

- OTU1 2.66Gbps OC-48 ou STM-16
- OTU2 10.70Gbps OC-192, STM-64 ou 10 Gigabit Ethernet (10GBASE-W)
- OTU2e 11.09Gbps 10 Gigabit Ethernet
- OTU2f 11.32Gbps
- OTU3 OC-768, STM-256 signal ou 40 Gigabit Ethernet
- OTU3e2 44.58Gbps quatro OTU2e
- OTU4 112Gbps 100 Gigabit Ethernet

Formato - Áudio: Tec3otnframe.mp3

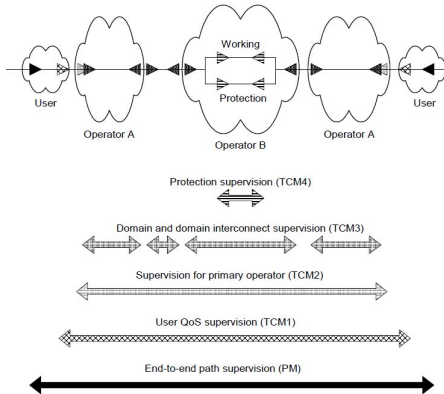
## Formato de Quadro



- A-Frame alignment area
- B-OTU specific overhead area
- C-ODU specific overhead area
- D-OPU specific overhead area
- E-Virtual concatenation overhead

TCM - Áudio: Tec3otntcm.mp3

# Monitoramento de Performance



## Regras de Multiplexação



Payload - Áudio: Tec3otnpayload1.mp3

## Tipos de payload

- 02 Asynchronous CBR mapping
- 03 Bit synchronous CBR mapping,
- 04 ATM mapping
- 05 GFP mapping
- 06 Virtual Concatenated signal
- 07 1000BASE-X into ODU0 mapping
- 08 FC-1200 into ODU2e mapping
- 09 GFP mapping into Extended OPU2 payload (Note 2)
- 10 Bit stream with octet timing mapping,
- 11 Bit stream without octet timing mapping.

# Payload - Áudio:Tec3otnpayload2.mp3

## Tipos de payload

- CBR
  - STM-16 - CBR2G5 - OPU1
  - STM-64 - CBR10G - OPU2
  - STM-256 - CBR40G - OPU3
- GBE
  - 1.25 Gbit/s 8B/10B GE -> OPU0
  - 10GE (10.3125 Gbit/s)->10GE WAN-PHY->OPU2
  - 10GE (10.3125 Gbit/s)-> -IFG+GMP ->OPU2 (estatística)
  - 10GE (10.3125 Gbit/s)-> -IFG+GMP ->OPU2e
  - 40GE (40.150519 Gbit/s)-> -IFG+GMP ->OPU3e
  - Generic mapping procedure (GMP) - Interframe gap (IFG)



# Concatenação - Áudio: Tec3otnconcat.mp3

## Concatenação Virtual

- Emprego de múltiplos OPUk
  - Caminhos diferentes
  - LCAS - Alocação dinâmica de banda
- OPUk-Xv => X = número de OPUks. Cada OPUk é colocado num ODUk
- ODUk-Xv => X = número de ODUks.
- Capacidade =  $X * 238 / (239 - k) * 4(k - 1) * 2\,488\,320$  kbit/s  $\pm 20$  ppm.

## Tipos concatenados -

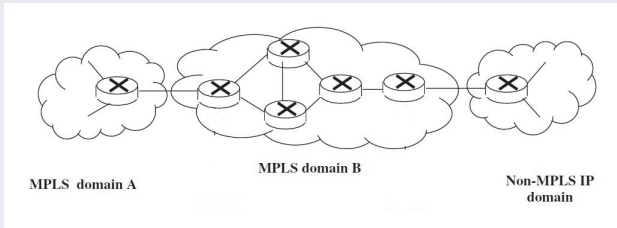
Áudio:Tec3otntipoconcat.mp3

### Tipo de payload concatenado

- 02 asynchronous CBR mapping
- 03 bit synchronous CBR mapping
- 04 ATM mapping,
- 05 GFP mapping
- 10 bit stream with octet timing mapping
- 11 bit stream without octet timing mapping

# Modelo MPLS - Áudio: Tec3mplsmodelo.mp3 I

## MULTI-PROTOCOL LABEL SWITCHING



- label switching routers (LSR)
- label edge routers (LER)

# Características MPLS - Áudio: Tec3mpls.mp3

## Tecnologia MPLS

- Proposta Cisco's tag switching
- Protocolo WAN
- Interconexão IP
- É um protocolo integrado à rede IP
- Rede de Pacotes Orientada à Conexão
  - Agrupa endereços IP com mesmo prefixo em FEC (forwarding equivalent class).
  - Associa uma FEC a uma etiqueta (label) nos nós LER.
  - Nos nós internos realiza encaminhamento por etiqueta.

# ATM e Frame Relay x MPLS -

Áudio: Tec3mplscomp.mp3

## Comparação com Frame Relay

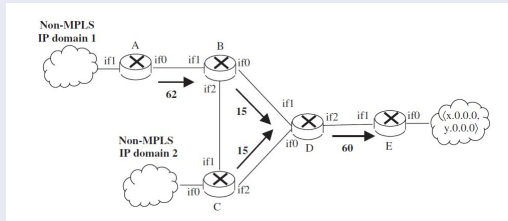
- Adaptado a transmissão em redes de alta velocidade.
- Garantia de QOS

## Comparação com ATM

- Total Integração com IP
- Roteamento pela Camada IP
- Apenas encaminhamento de Labels no interior da Rede
- Sem segmentação de pacotes em células
- Sem necessidade da AAL

LSP - Áudio: Tec3mplslsp.mp3

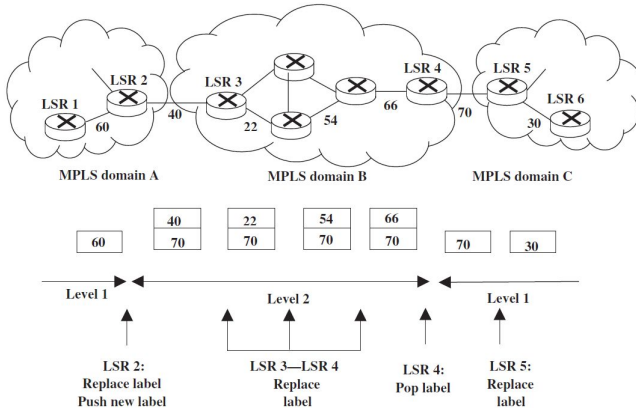
## Label Switched Path



- label forward information base (LFIB)
- label switched path (LSP) - 62-15-60

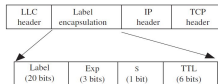
# Pilhas de labels - Áudio: Tec3mplsstack.mp3

## LSP Stack



# Label - Áudio: Tec3label.mp3

## Formato da Etiqueta



- ATM -> VCI e VPI
- Frame Relay DLCI
- EXP = Class of Service (COS)



# Distribuição de Labels -

Áudio: Tec3mplsdistrib.mp3

## Protocolos de Distribuição

- Border Gateway Protocol (BGP)
- RSVP
- Label Distribution Protocol (LDP) - IETF
  - Downstream on-demand:
  - Unsolicited Downstream
  - Mantém lista de LSRs na rede

# GMPLS x ASON - Áudio: Tec3gmplsason.mp3

## Padrões para o plano de Controle

- International Telecommunications Union (ITU)
  - Architecture for Automatically Switched Optical Networks (or ASON).
  - Arquitetura do plano de controle.
- Internet Engineering Task Force (IETF),
  - Generalized Multi-Protocol Label Switching (or GMPLS).
  - End-to-end - “GMPLS everywhere”.
  - Permite implementar uma rede ASON.
  - Arquitetura dos planos de controle e dados

# GMPLS - Áudio: Tec3gmp1s.mp3

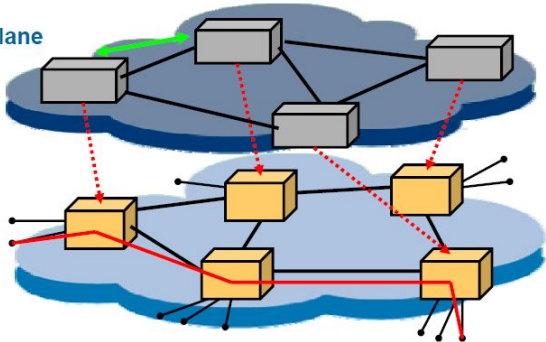
## Separação de Controle e Dados

### GMPLS Control Plane

RSVP-TE, CR-LDP  
OSPF, IS-IS

### Data Plane

MPLS, SONET/SDH,  
 $\lambda$ s/WDM, Ports



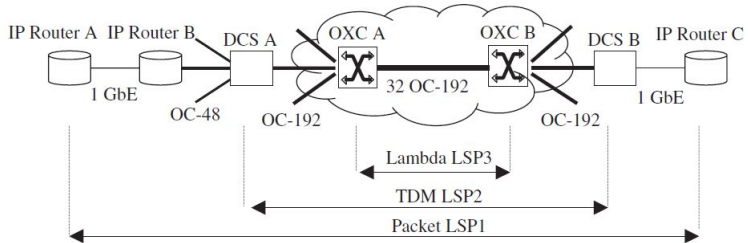
# Labels - Áudio: Tec3gmplslabels.mp3

## Labels GMPLS

- Generalização dos labels:
  - Rede de Pacotes (IP-MPLS)
    - Rede SDH
    - Rede OTN (WDM)
  - Interfaces de um LSR
    - Packet-switch capable (PSC)
    - Time-division multiplex capable (TDM)
    - Lambda switch capable (LSC)
    - Fiber-switch capable (FSC)

# LSP - Áudio: Tec3gmplspath.mp3

## Label Switching Path



## Significado - Áudio: Tec3gmplssig.mp3

### Significado de um label

- MPLS label, frame relay DLCI, ATM VCI/VPI
  - SONET/SDH Virtual Container - VC
  - Um comprimento de Onda
  - Uma banda de comprimentos de onda
  - Uma fibra

# Evolução - Áudio: Tec3gmplsevol.mp3

## Evolução do GMPLS

- Label Sugerido
  - Lista de labels
  - Labels bidirecionais
  - Informação de Proteção
  - Link Management Protocol LMP
  - Signaling Extensions for WSONs (RFC7689)

# Wavelength Switched Optical Networks - Áudio: Tec3wson.mp3

## Extensões ao GMPLS aprovadas em 2015 (WSON)

- Routing and Wavelength Assignment Information Model for WSONs (RFC7446)
  - Routing and Wavelength Assignment Information Encoding for WSONs (RFC7581)
  - General Network Element Constraint Encoding for GMPLS-Controlled Networks (RFC7579)
  - PCEP Requirements for WSON Routing and Wavelength Assignment (RFC7449)
  - OSPF-TE Extensions for General Network Element Constraints (RFC7580)
  - OSPF Enhancement for Signal and Network Element Compatibility for WSONs (RFC7688)



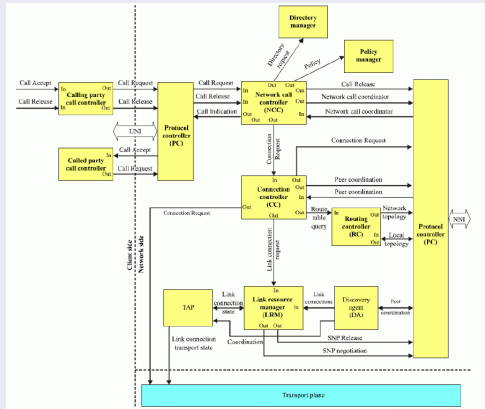
# Características ASON - Áudio: Tec3ason.mp3

## Automatização da OTN

- Provisionamento rápido e automatizado
- Re-roteamento
- Diferentes protocolos mas otimizado para IP
- Diferentes classes de QOS
- Optical Virtual Private Networks (OVPNs)

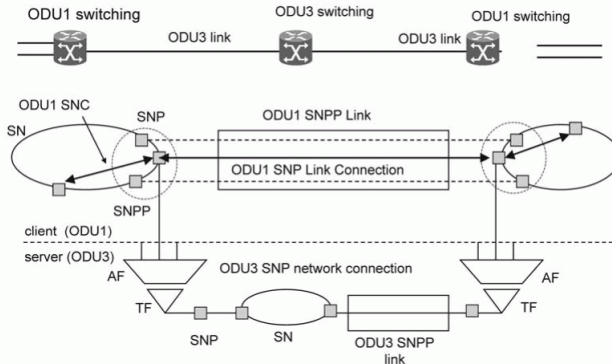
# Controle - Áudio: Tec3asoncontrol.mp3

## Plano de Controle



# Relação Cliente Servidor - Áudio:Tec3asonclisrv.mp3

## Camadas ASON



SN Subnetwork  
SNC Subnetwork Connection

SNP Subnetwork Point  
SNPP Subnetwork Point Pool

ODU1 Optical Data Unit (2.5 Gbit/s)  
ODU3 Optical Data Unit (40 Gbit/s)