



Universidade Federal do Ceará - UFC
Curso de Mestrado em Ciência da Computação
Disciplina: Redes Móveis e Sem Fio
Professora: Rossana Maria de Castro Andrade
Semestre: 2005.2

Redes Ópticas

Diana Braga Nogueira

diana@lia.ufc.br

Marcos Dantas Ortiz

mdo@lia.ufc.br



Redes Ópticas



Roteiro

- Introdução
- Fibras Ópticas
- Arquitetura de uma RO
- IP sobre Redes Ópticas
- IP, MPLS e Engenharia de Tráfego
- Plano de Controle Óptico baseado em IP
- O Projeto GIGA
- O Projeto GIGAMAN P2P



Comunicações Ópticas

Por que a escolha da transmissão óptica?

- Imune às interferências elétricas;
- Não emite nenhum tipo de radiação;
- Mais leve que os outros tipos de cabos;
- Sinal se propaga por longas distâncias.

Redes Ópticas



Comunicações ópticas hoje

- A tendência atual é transmitir cada vez mais informação à taxas de velocidade cada vez maiores.
- As comunicações ópticas são a chave da indústria de telecomunicações.
- São utilizadas em mais de 98% do tráfego de telecomunicações doméstico nos EUA e demais países industrializados

Redes Ópticas



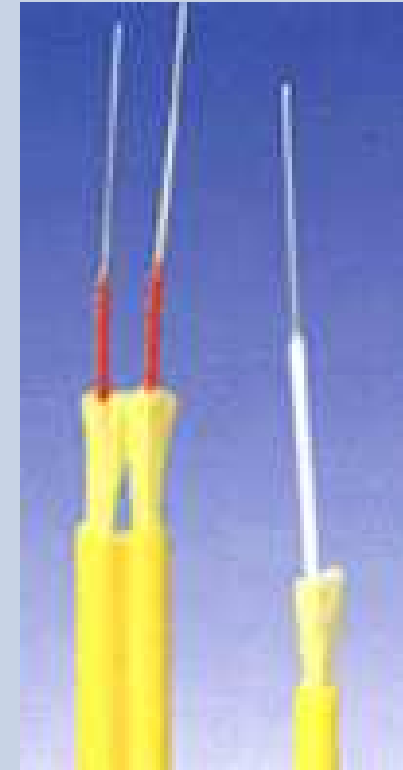
Por que Redes Ópticas?

- A Internet está se movendo em direção a um modelo formado por roteadores de alta capacidade interconectados por um núcleo de redes ópticas
- Fibras ópticas têm capacidade de transmissão (teoricamente) ilimitada
- Existe uma demanda cada vez maior da sociedade por aplicações avançadas e também capacidades de transmissão maiores

Redes Ópticas



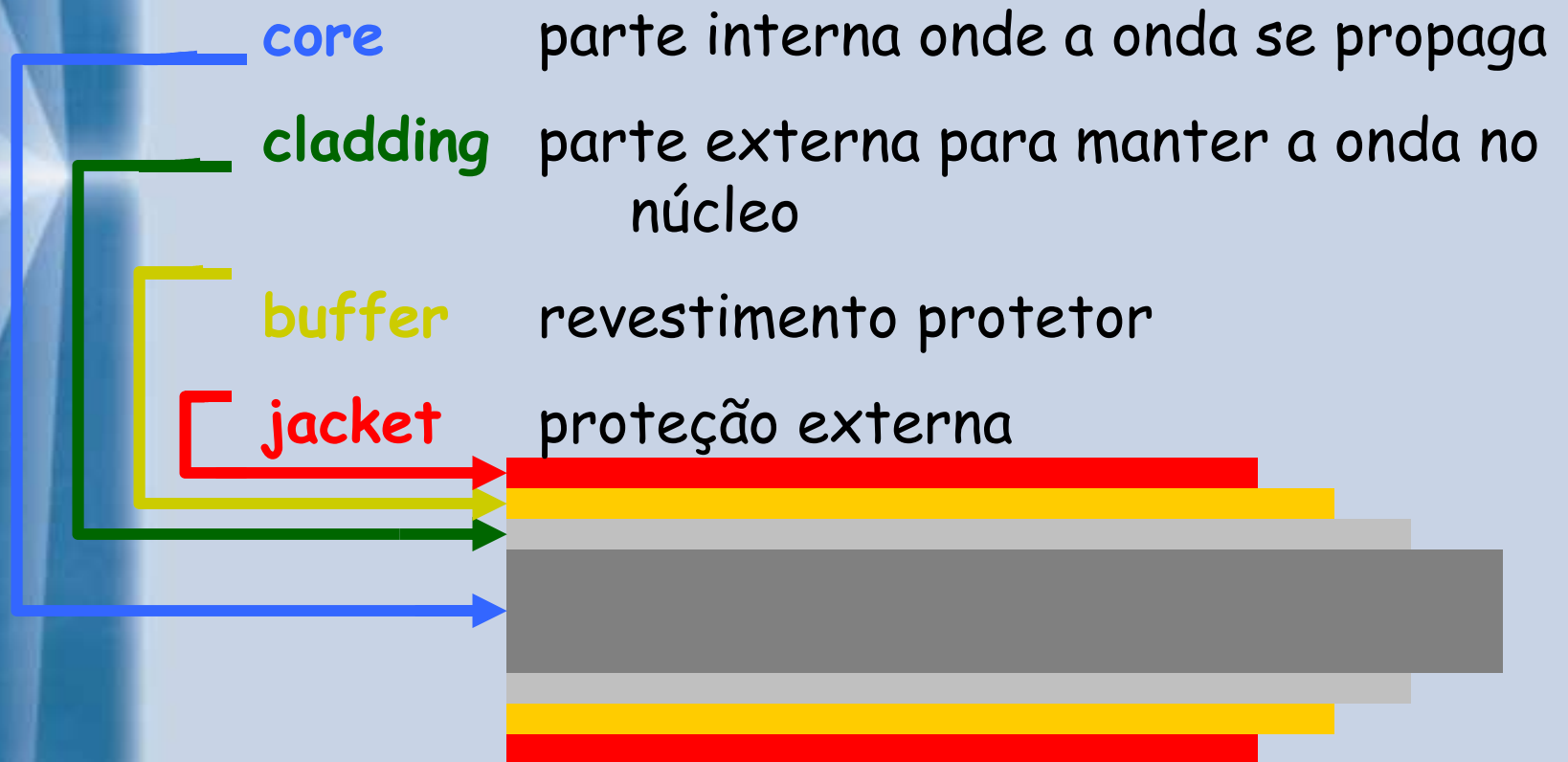
Fibras Ópticas



Redes Ópticas

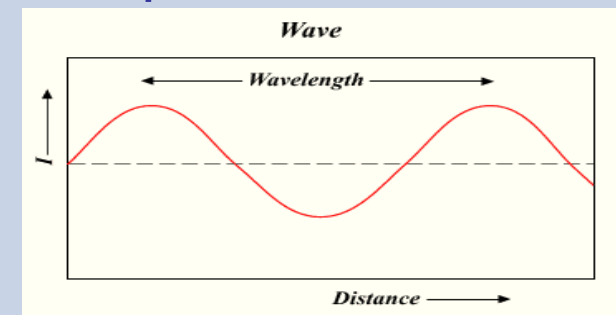
O que é uma fibra óptica?

Uma fibra óptica é um **guia de ondas para a luz**



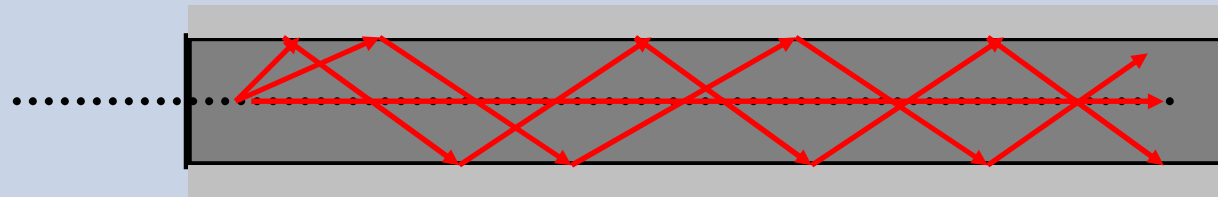
Comprimento de Onda

- Um comprimento de onda é a distância entre as unidades que se repetem de um padrão de onda
- É representado pela letra grega lambda λ
- Também chamado de canal óptico, lambda, caminho de luz ou rastro de luz
- Em redes ópticas modernas, vários sinais podem trafegar em vários comprimentos de onda simultaneamente

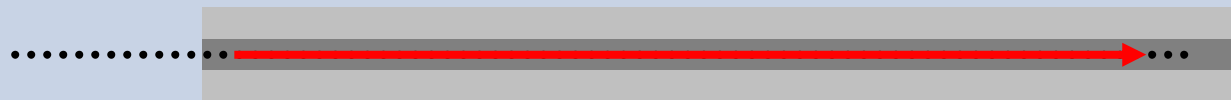


Tipos de Fibras

Multimodo



Monomodo





A evolução das redes ópticas

Transição: do ponto-a-ponto para o WDM

- Sistemas de comunicação baseados em fibras ópticas foram criados a partir de simples enlaces ponto-a-ponto.
- Com o aumento da distância das transmissões, foi introduzido o regenerador O/E/O de sinais ópticos.
- Baseado nesta simples configuração, um desenvolvimento maciço das redes telefônicas regionais e de longa distância iniciou-se a partir dos anos 80.

Redes Ópticas



A evolução das redes ópticas

Transição: do ponto-a-ponto para o WDM

- Em meados dos anos 90, percebeu-se as limitações de capacidade da fibra óptica. O WDM (Wavelength Division Multiplexing) foi desenvolvido para solucionar esse problema.



Transmissão Óptica

Cliente



Cliente

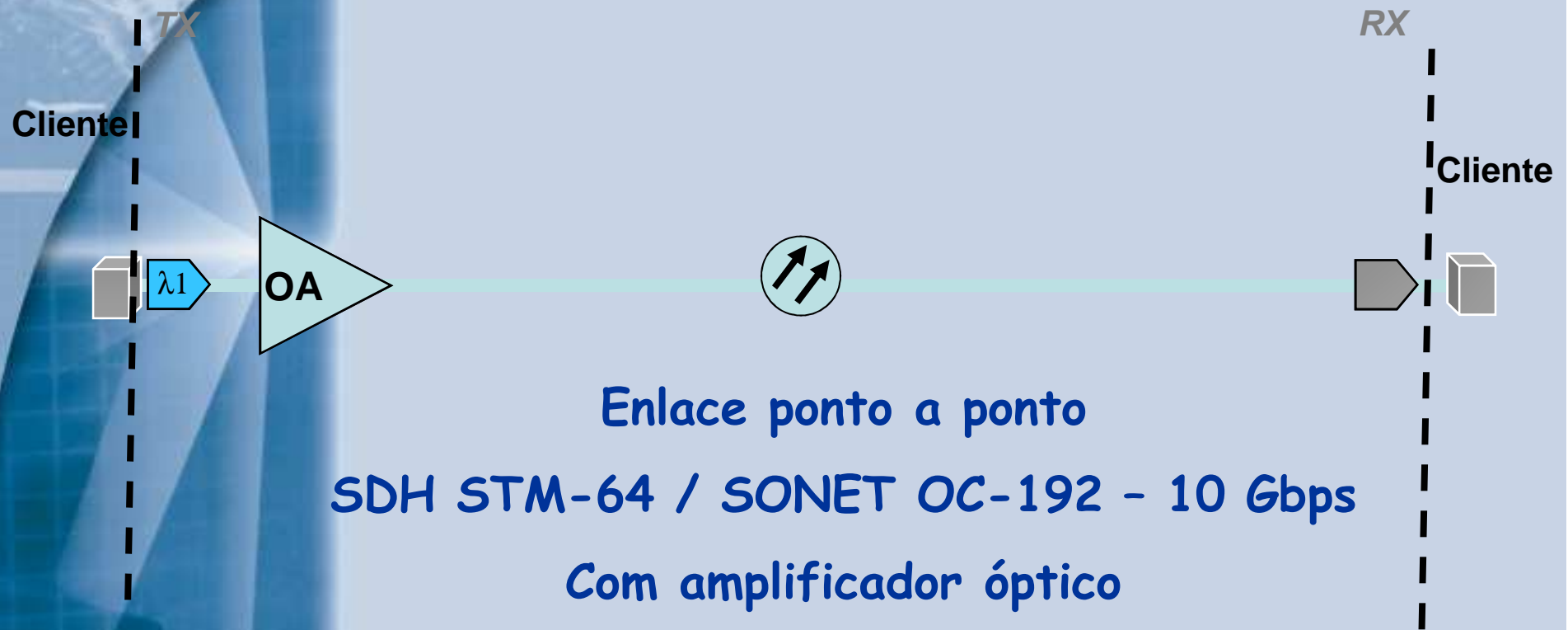


Enlace ponto a ponto

SDH STM-64 / SONET OC-192 - 10 Gbps

Redes Ópticas

Transmissão Óptica



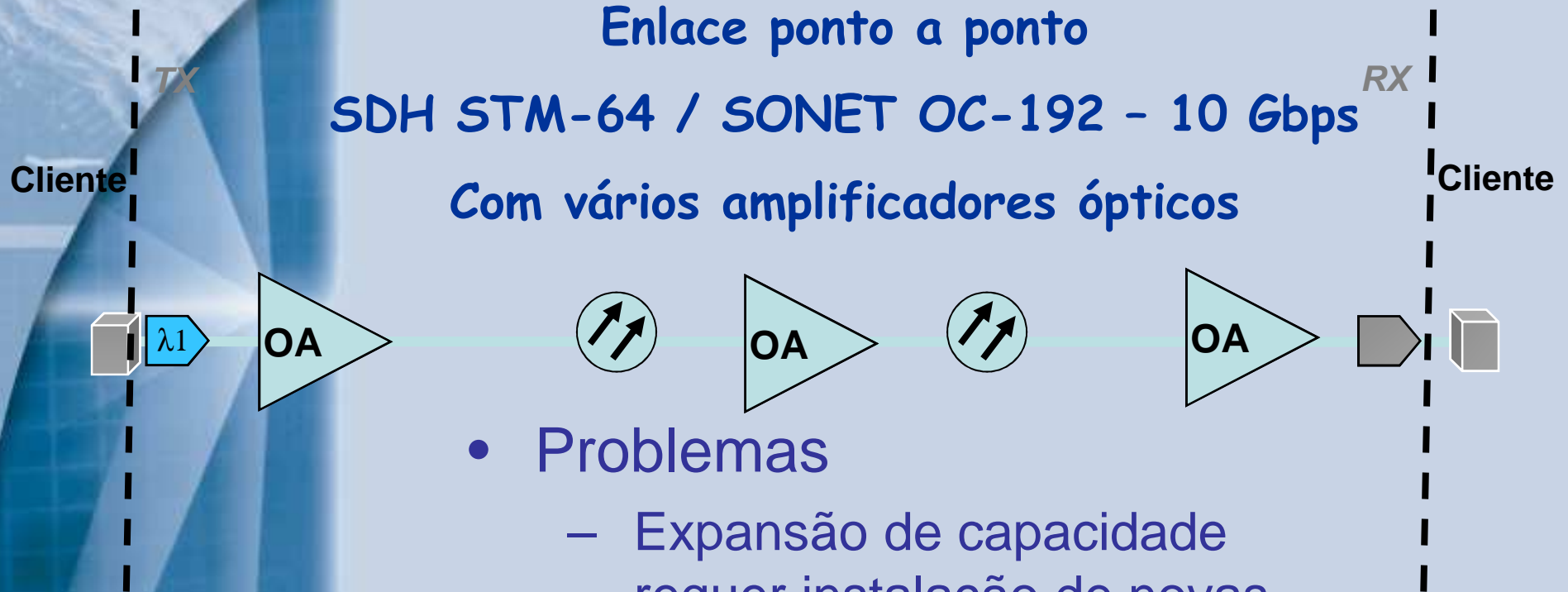
Enlace ponto a ponto
SDH STM-64 / SONET OC-192 - 10 Gbps
Com amplificador óptico

Transmissão Óptica

Enlace ponto a ponto

SDH STM-64 / SONET OC-192 - 10 Gbps

Com vários amplificadores ópticos



- Problemas

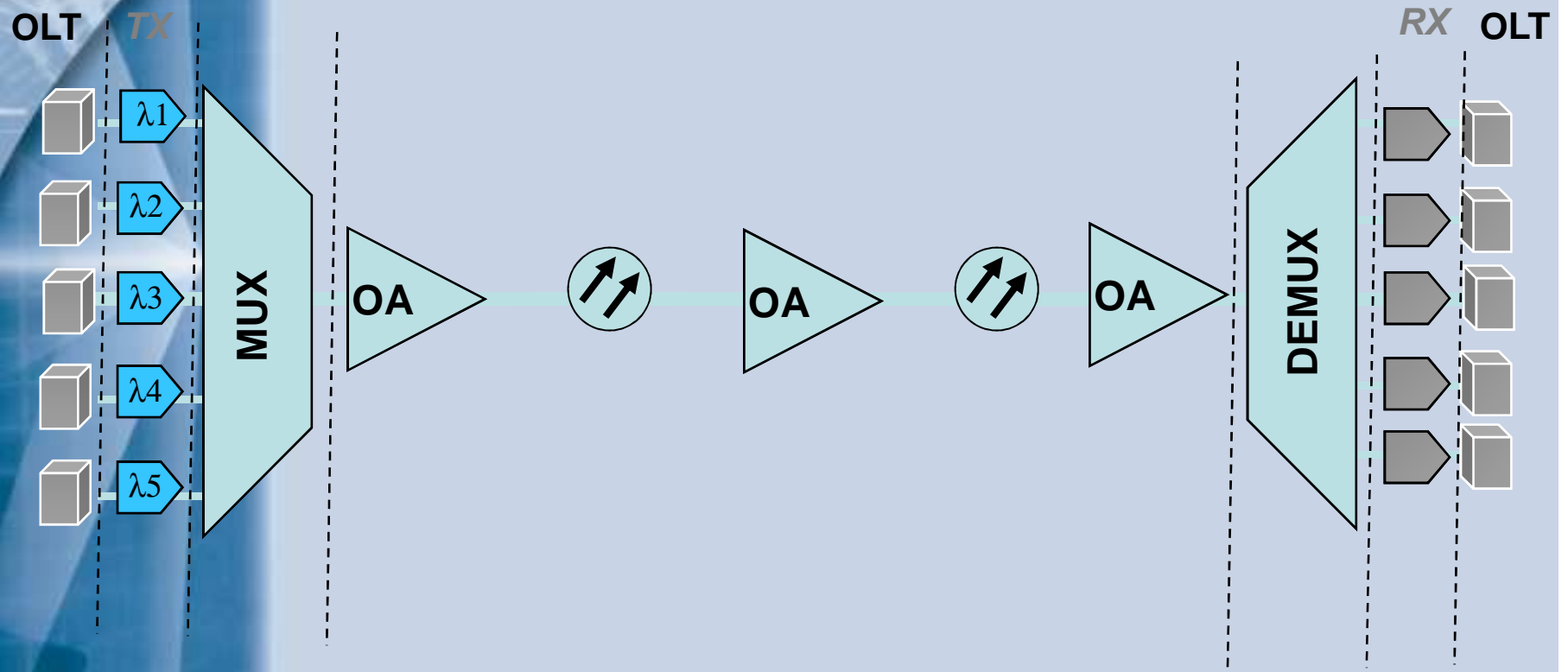
- Expansão de capacidade requer instalação de novas fibras
- Extensão de distância requer amplificadores para cada fibra



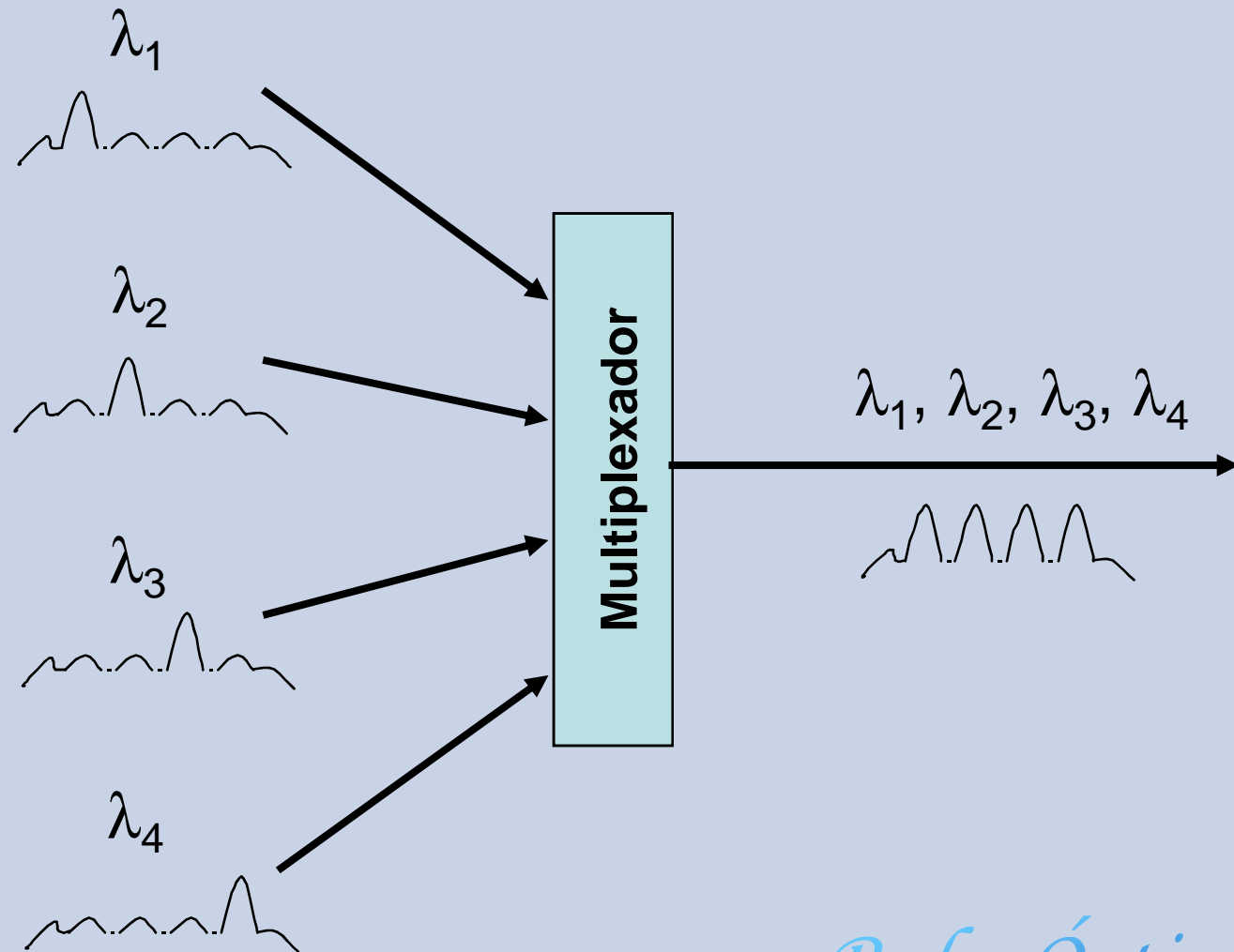
Sistemas WDM

- WDM – Wavelength Division Multiplexing
 - Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda
- Possibilita a divisão de uma fibra em vários comprimentos de onda
- CWDM
 - Coarse WDM: abaixo de 8 lambdas
- DWDM
 - Dense WDM: 8 lambdas ou mais

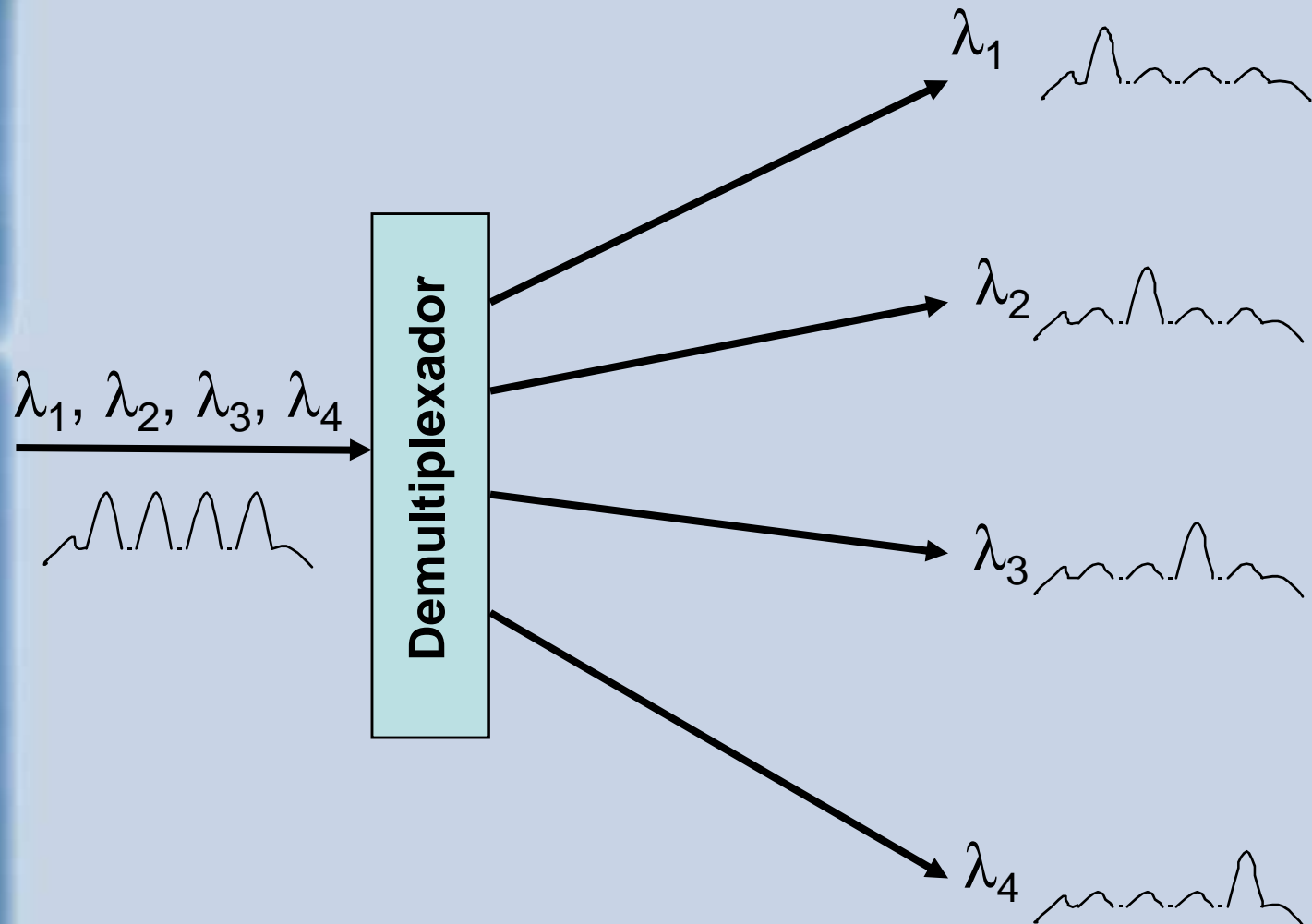
WDM



WDM: Multiplexação



WDM: Demultiplexação

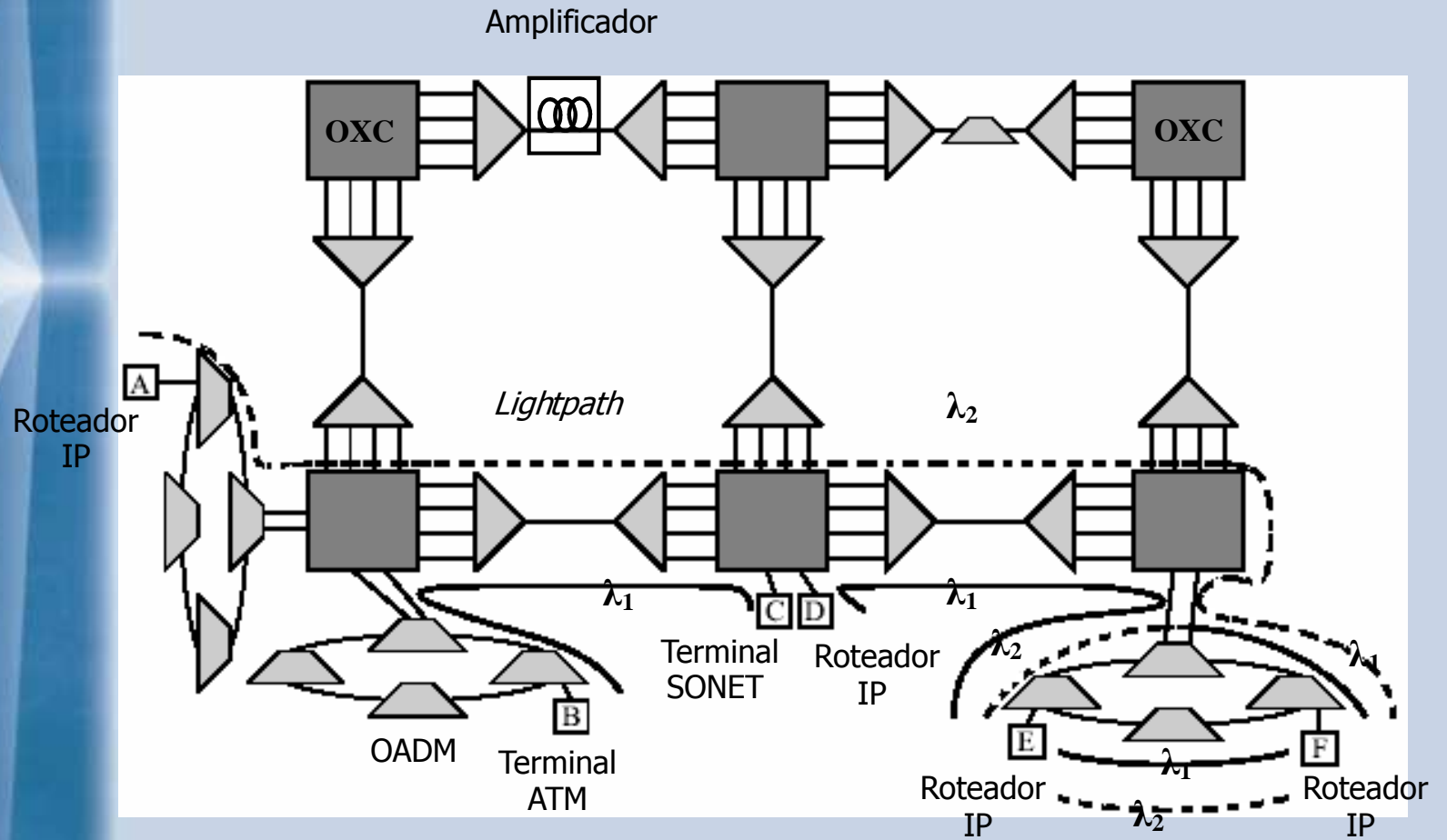




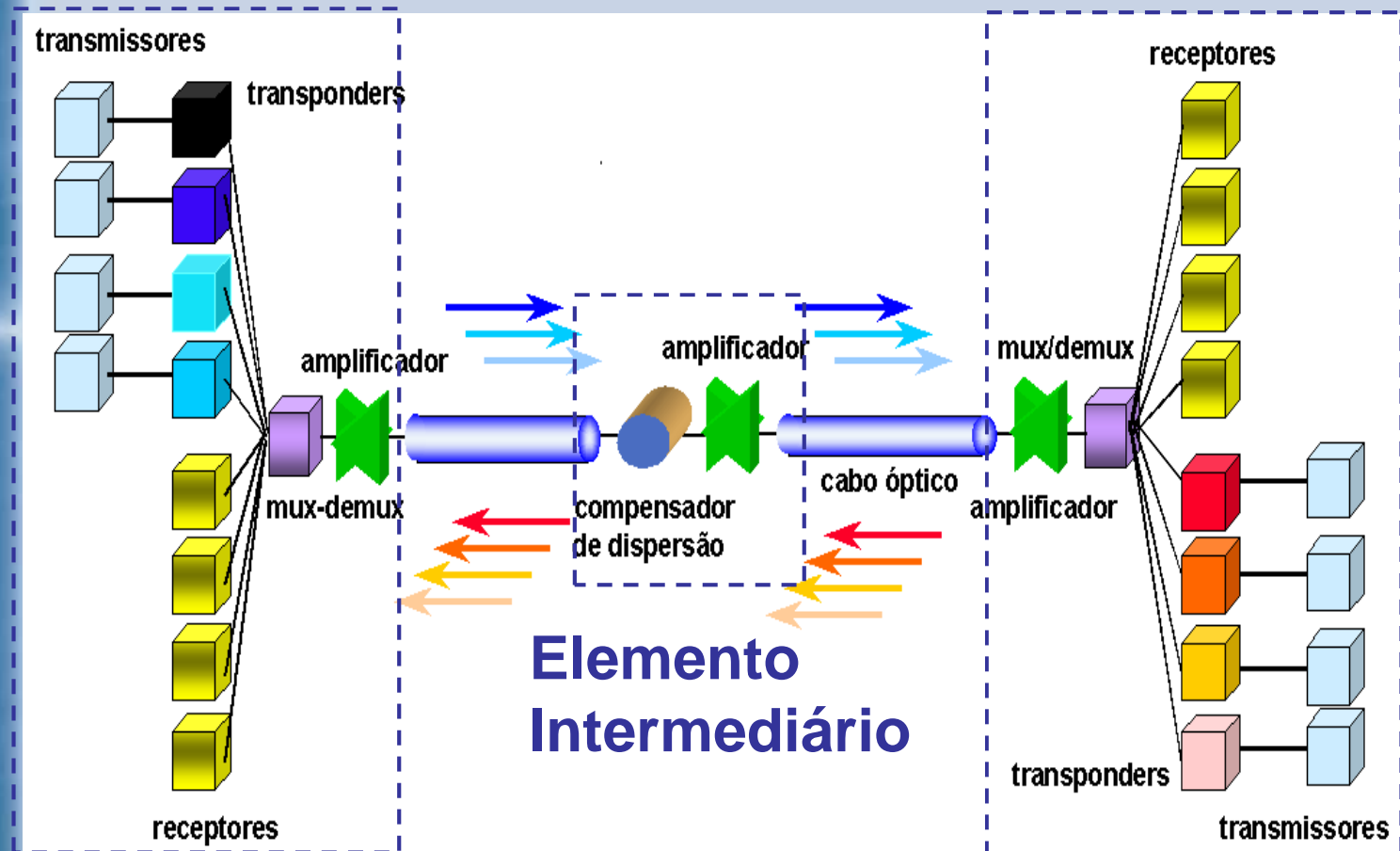
Arquitetura de Redes Ópticas

- Principais componentes
 - Terminais de linha óptica (OLT)
 - Amplificadores ópticos (OA)
 - Multiplexadores ópticos (OADM)
 - Comutadores ópticos (OXC)
- Clientes
 - Terminais SDH/SONET
 - Terminais ATM
 - Roteadores IP

Arquitetura de Redes Ópticas



Sistema WDM Ponto-a-Ponto de Longa Distância



Terminal de Transmissão

Terminal de Recepção

Redes Ópticas

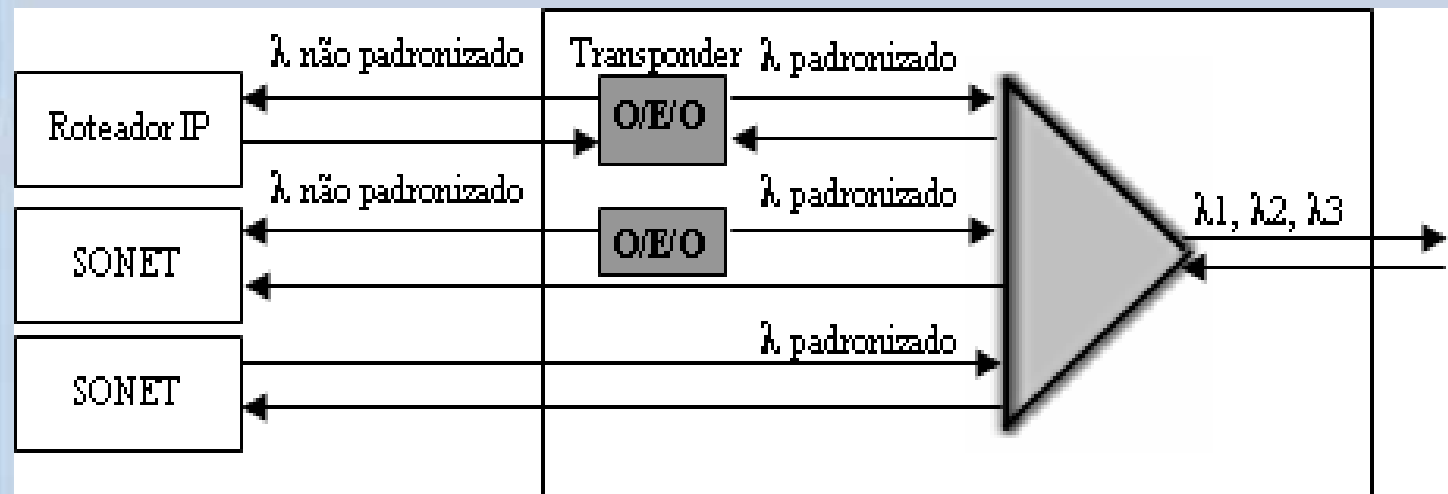


Terminal de Linha Óptica OLT

- Elementos de rede utilizados no início e no fim de um enlace para multiplexar e demultiplexar comprimentos de onda
- Transponder
 - Adapta o sinal de entrada (de um cliente) para um sinal que possa ser utilizado na rede óptica
 - É desnecessário quando a interface cliente possui funções de adaptação de comprimentos de onda
 - Responsável pela maior parte do custo em um OLT



Terminal de Linha Óptica OLT

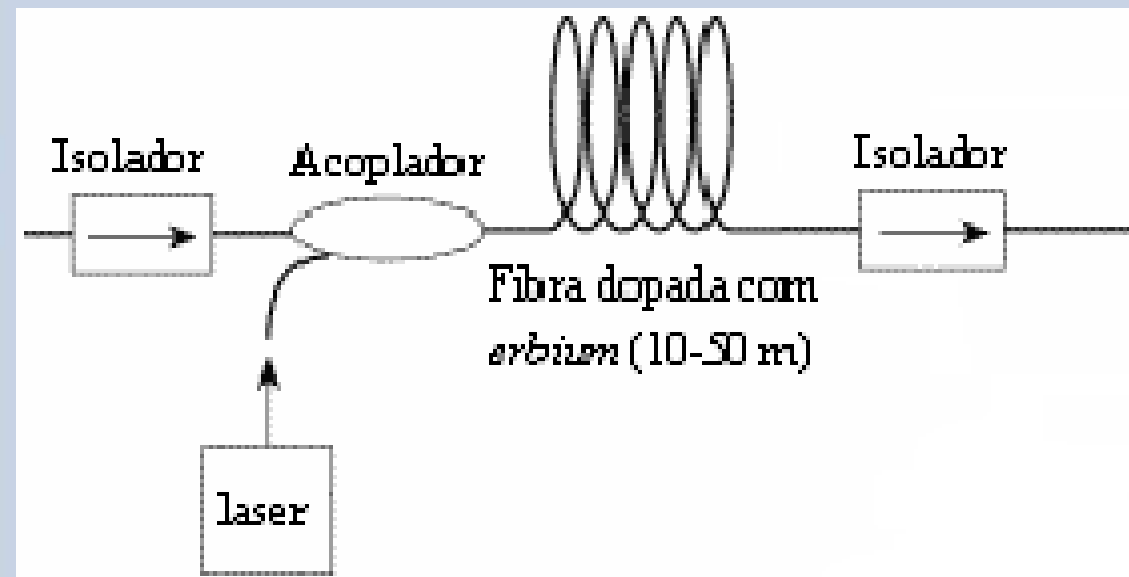




Amplificadores Ópticos

- Os sinais ópticos são atenuados (perdem a força) durante propagação na fibra óptica
- Para garantir a integridade em grandes distâncias, o sinal precisa ser amplificado
- Atualmente: um amplificador a cada 80-120 km
- Lambdas sofrem atenuações diferentes
- O nível de potência em um canal é influenciado por outros lambdas
- Controle automático de potência (AGC) é necessário para manter a potência de saída constante

Amplificadores Ópticos

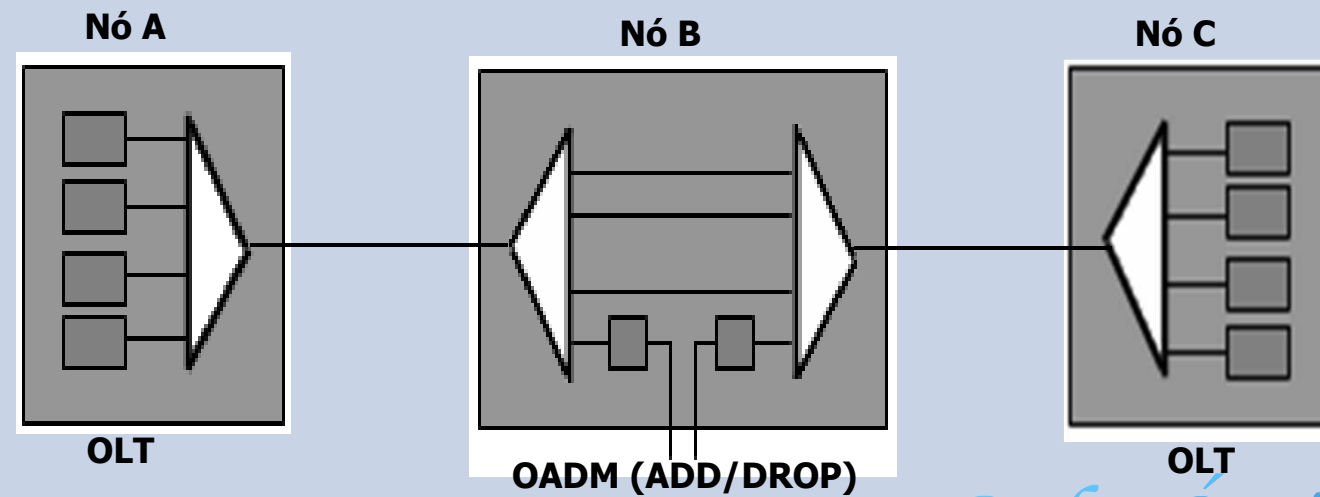
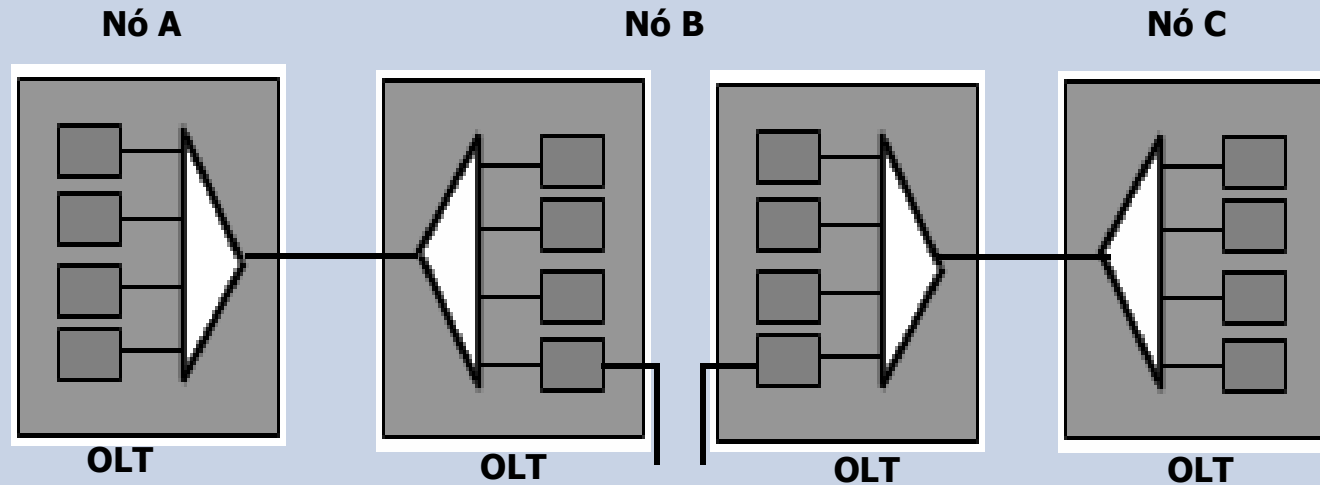




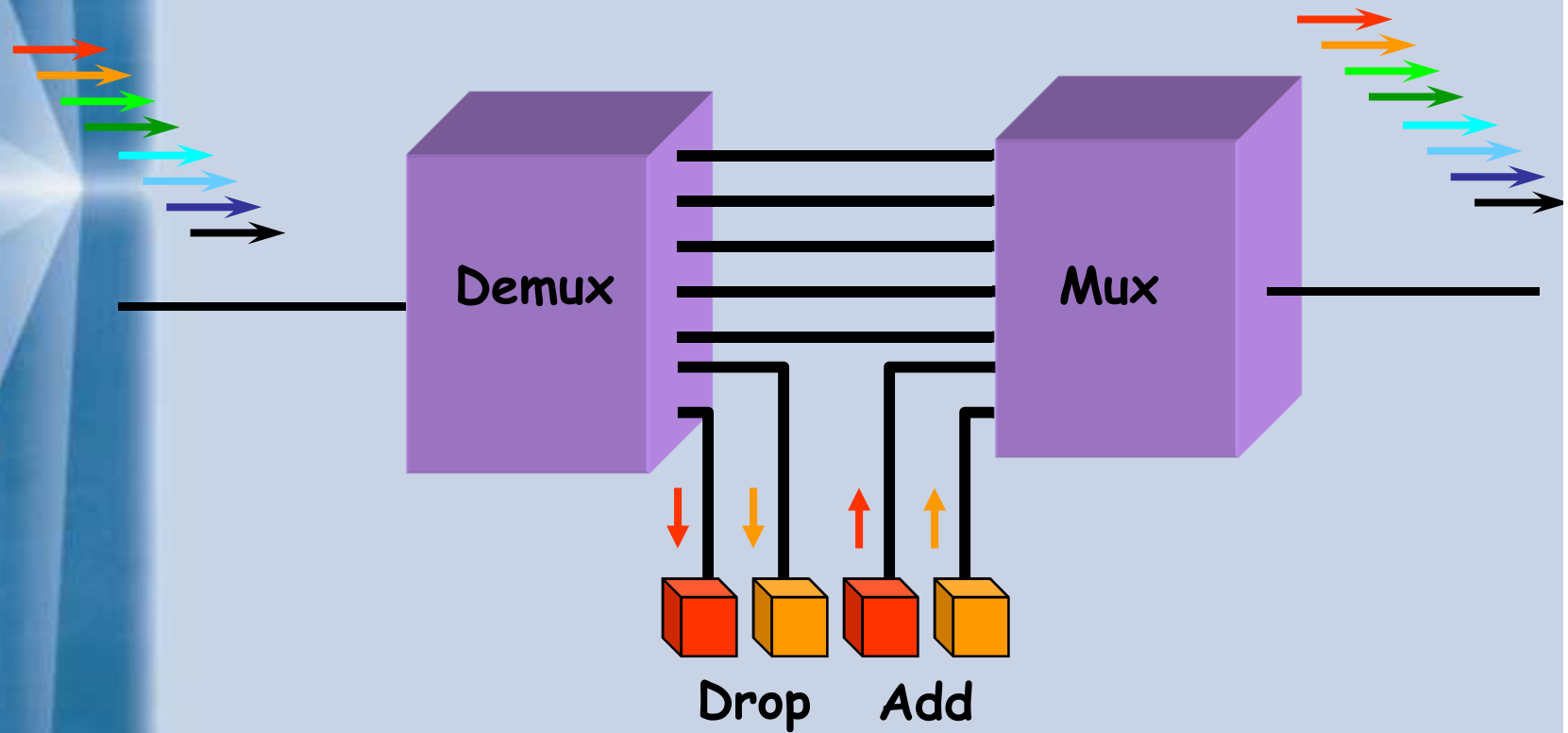
Multiplexadores Ópticos

- OADM - Optical Add/Drop Multiplexers
- São usados para **Inserir (add)** e **Extrair (drop)** canais ópticos de uma transmissão
- São utilizados como uma solução mais barata, em vez de usar um par de OLTs em cada nó
 - A maioria dos lambdas passa direto em um nó óptico, ou seja, não são destinados àquela localidade

Multiplexadores Ópticos

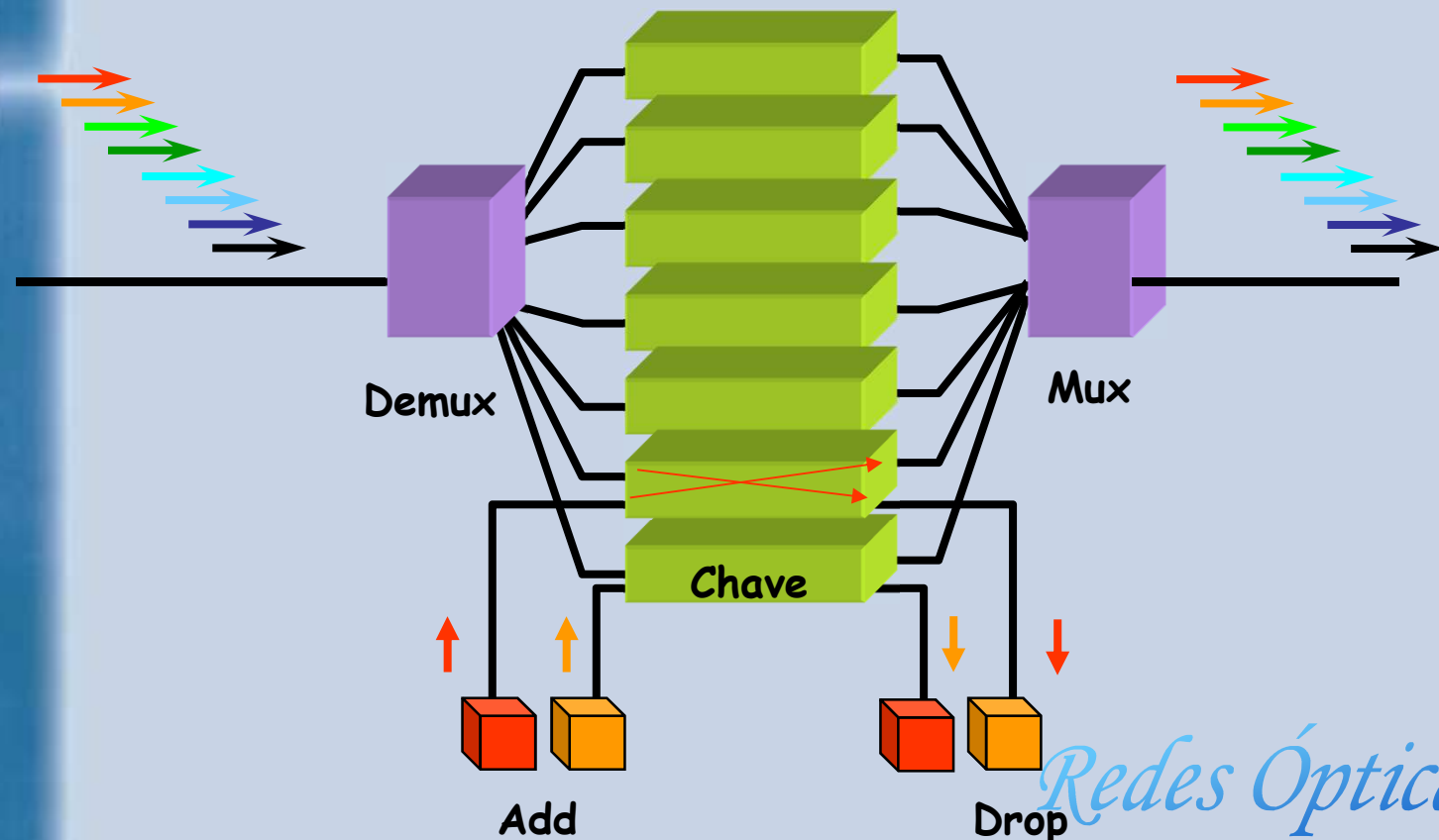


Add-Drop fixo



Add-Drop configurável

- Componentes e tecnologias
 - Mux e demux: waveguides ou filtros
 - Chaves ópticas: waveguides ou MEMS





Comutadores Ópticos

- OXC (Optical Crossconnect)
- Fazem o provisionamento dos caminhos ópticos, comutando os lambdas de entrada aos lambdas de saída
- Tipos: Conversão opto-elétrica
 - Transparente: não faz conversão (O-O-O)
 - PXC: Photonic Crossconnect
 - Opaco: faz conversão (O-E-O)
 - OXC

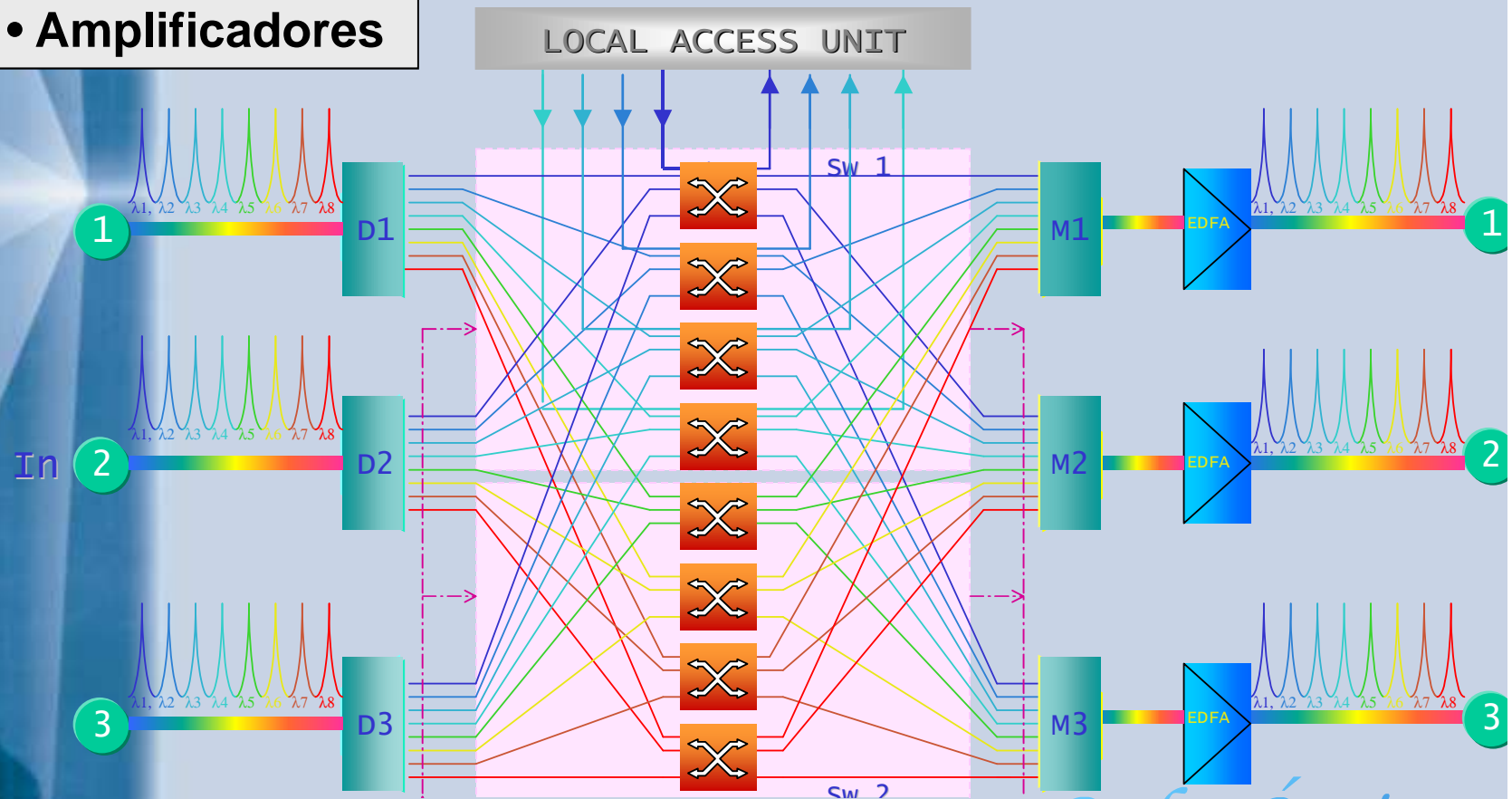


Comutadores Ópticos

- Um OXC necessita de um plano de controle para configurá-lo dinamicamente
- Funções:
 - Aprovisionamento
 - Escalabilidade: grande número de portas e lambdas
 - Proteção: estabelecimento de novas rotas em caso de falhas
 - Conversão de lambda: além de comutar, alguns OXCs podem converter um lambda de entrada em outro lambda de saída (ex: λ_1 em λ_2)
 - É caro e complexo

Comutadores Ópticos

- Chaves Ópticas
- Mux e Demux
- Amplificadores



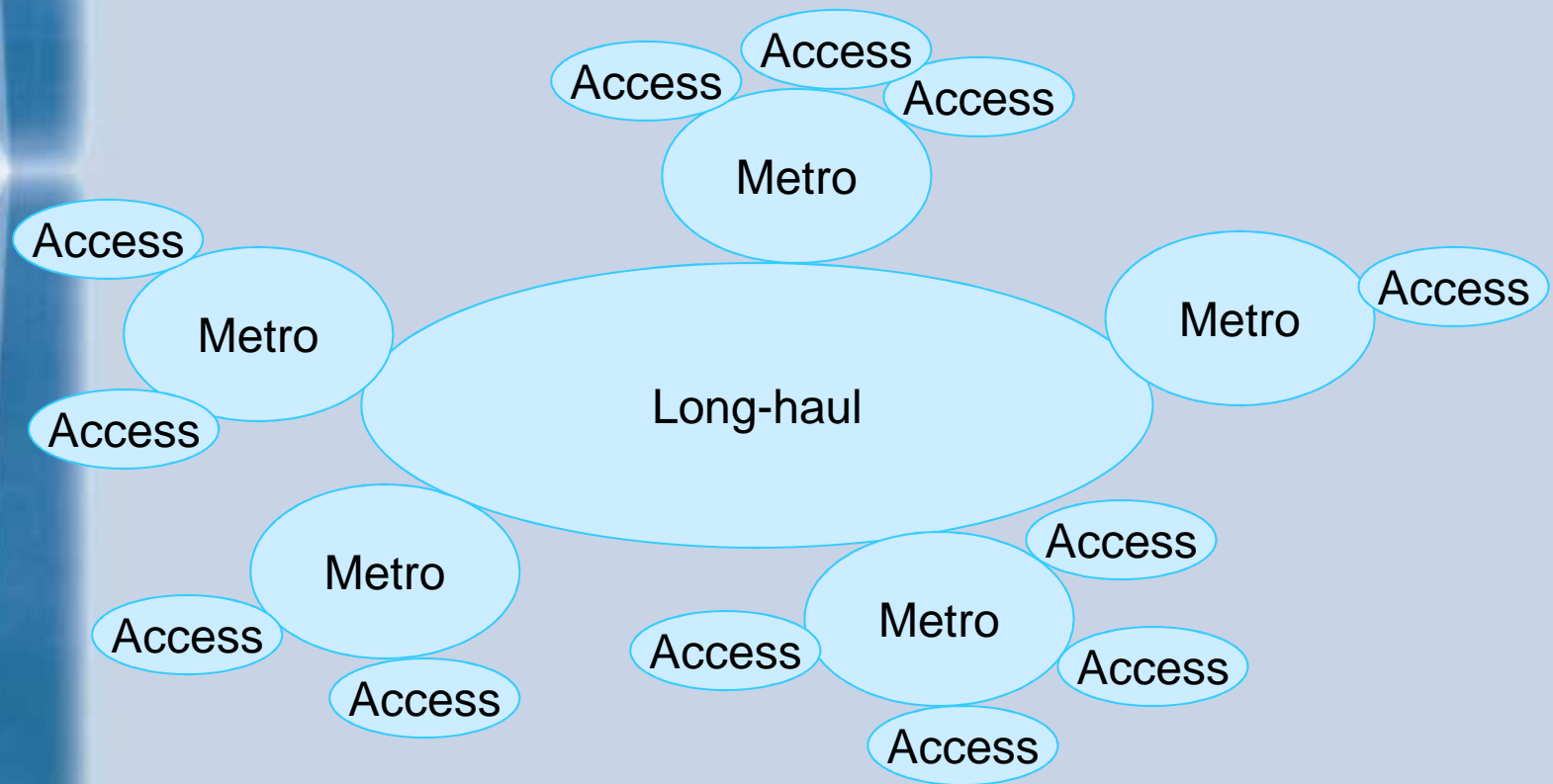


Categorias das ROs

- As redes ópticas são divididas em três categorias dependendo da escala de suas operações: long-haul (longa-distância), metro (metropolitana) e access (acesso).
- Não existem limites específicos que separem essas redes. Elas são diferenciadas através de suas taxas de transmissão, da natureza das informações transmitidas e outras características.
- Não existem padrões que classificam essas redes. Outras classificações são muito comuns: metro-backbone e metro-access, etc.

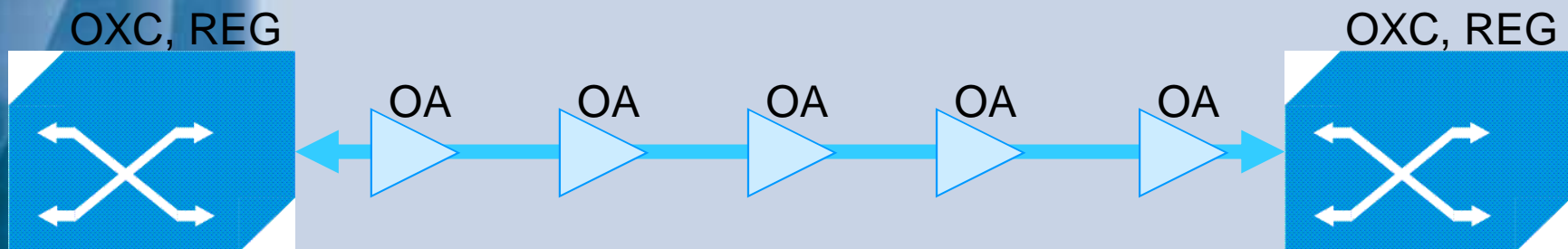
Long-Haul

- Rede de longa distância, redes metropolitanas e redes de acesso.



Long-Haul

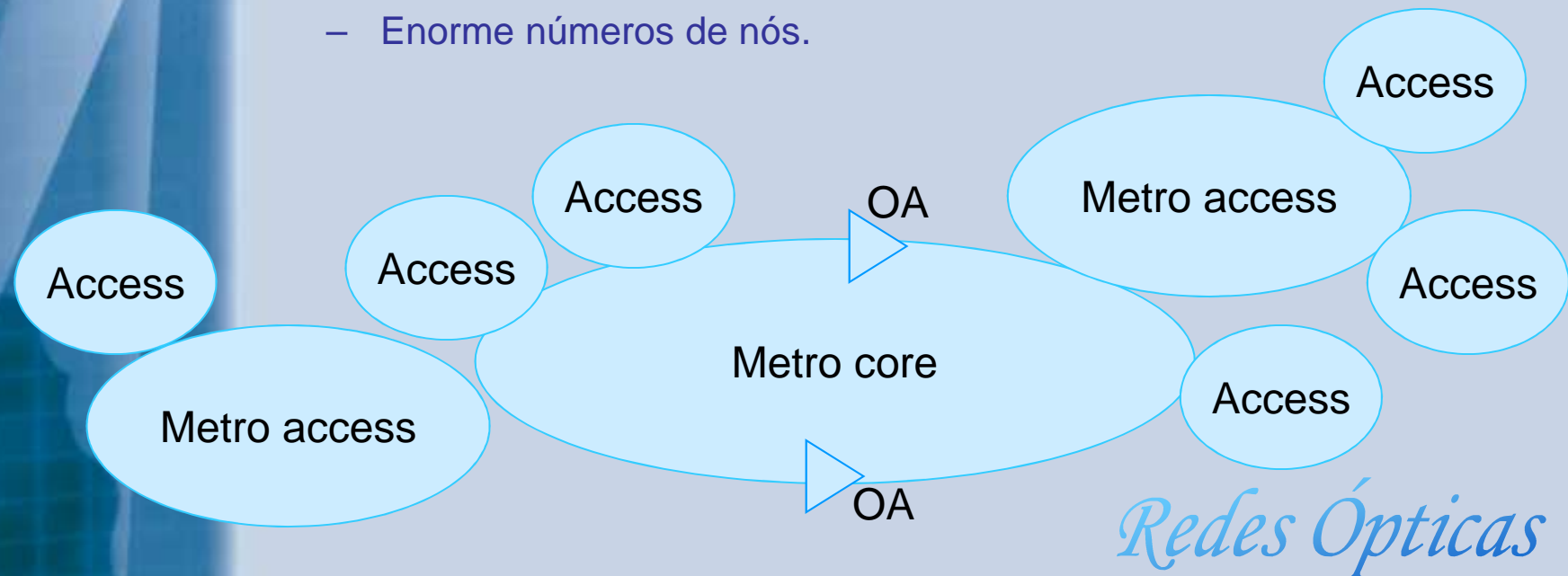
- Long-haul (longa distância ou backbone)
 - Operação global, continental e nacional; redes terrestres e submarinas. As distâncias variam de centenas até milhares de quilômetros.
 - Transporta um tremendo volume de informações. Com 160 canais, cada portadora transmite 10 Gb/s, em sistemas comerciais a taxa chega a ser de 1.6 Tb/s por fibra.
 - Uniformidade na tecnologia de transmissão (SONET/SDH e IP).
 - Uniformidade de serviços (voz e dados com poucas interfaces).
 - Pequeno número de nós.



Metro

- Metro

- Operação regional como áreas metropolitanas e cidades.
- Transporta grande volume de informações. As taxas de transmissão variam de centenas de megabits por segundo até dezenas de gigabits por segundo.
- Variedade na tecnologia de transmissão (SONET/SDH, ATM, IP, Ethernet, etc).
- Variedade de serviços (voz, dados, vídeo).
- Enorme números de nós.





Access

- Access optical networks
 - Oferece ao usuário acesso à redes ópticas globais através das redes metropolitanas.
 - Operação local como escritórios e casas.
 - Transporta moderado volume de informações. As taxas de transmissão variam de centenas de kilobits por segundo até dezenas de megabits por segundo.
 - Variedade na tecnologia de transmissão (SONET/SDH, ATM, IP, Ethernet, etc).
 - Variedade de serviços (voz, dados, vídeo, armazenamento e possui muitas interfaces).
 - Grande números de nós.



IP sobre Redes Ópticas

Redes Ópticas

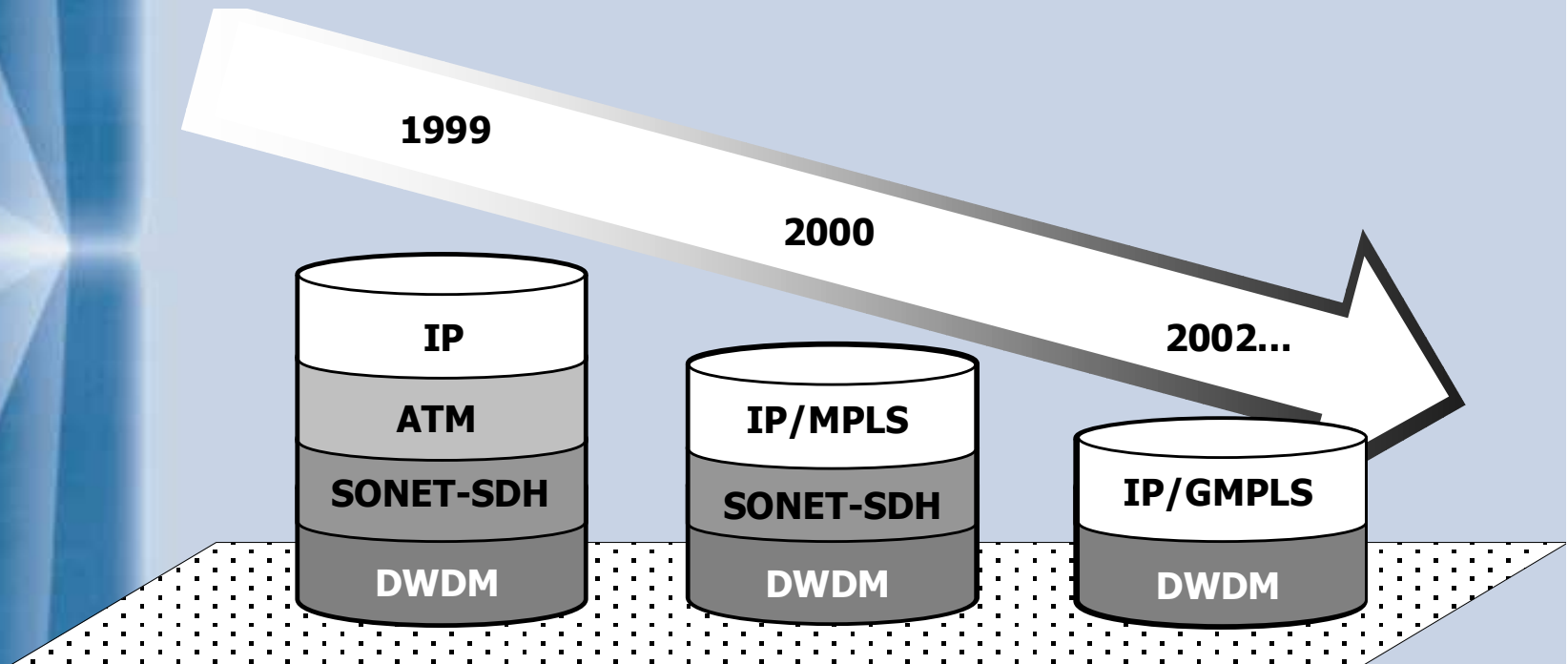


Arquiteturas de Integração

- Entre a camada IP e a camada óptica podem existir outras camadas (ou nenhuma)
- Existem várias arquiteturas possíveis para integrar redes IP com redes ópticas
 - IP sobre ATM sobre SDH/SONET sobre DWDM
 - IP/MPLS sobre SDH/SONET sobre DWDM
 - IP/GMPLS sobre DWDM
- Menos camadas implicam em maior eficiência na transmissão mas menor controle do tráfego



Arquiteturas de Integração



Redes Ópticas



Arquitetura IP/ATM/SDH/DWDM

- É o cenário mais comum atualmente, com uma arquitetura em quatro camadas
- ATM é uma tecnologia bastante consolidada no mercado e que oferece engenharia de tráfego e gerenciamento dos recursos (banda)
 - Configura-se circuitos virtuais CBR que são vistos pela camada IP como enlaces
- SDH/SONET são tecnologias onipresentes nas redes de telecomunicações
 - Em WANs, ATM em geral é mapeado em SDH/SONET
- A quantidade de camadas sobrepostas gera complexidade e custos mais elevados
 - O encapsulamento de pacotes IP sobre ATM pode gerar um desperdício de 25%



Arquitetura IP-MPLS/SDH/DWDM

- Arquitetura que visa eliminar a camada ATM
- Usada basicamente em enlaces com capacidade superior a 622Mbps (ATM não evoluiu)
 - OC48 – 2.5 Gbps
 - OC192 – 10 Gbps
 - OC768 – 40 Gbps (ainda não comercial)
- Precisa de um protocolo para enquadramento (framing), geralmente o PPP/HDLC
- Perde-se a flexibilidade de TE do ATM
- O MPLS pode ser usado para fazer TE

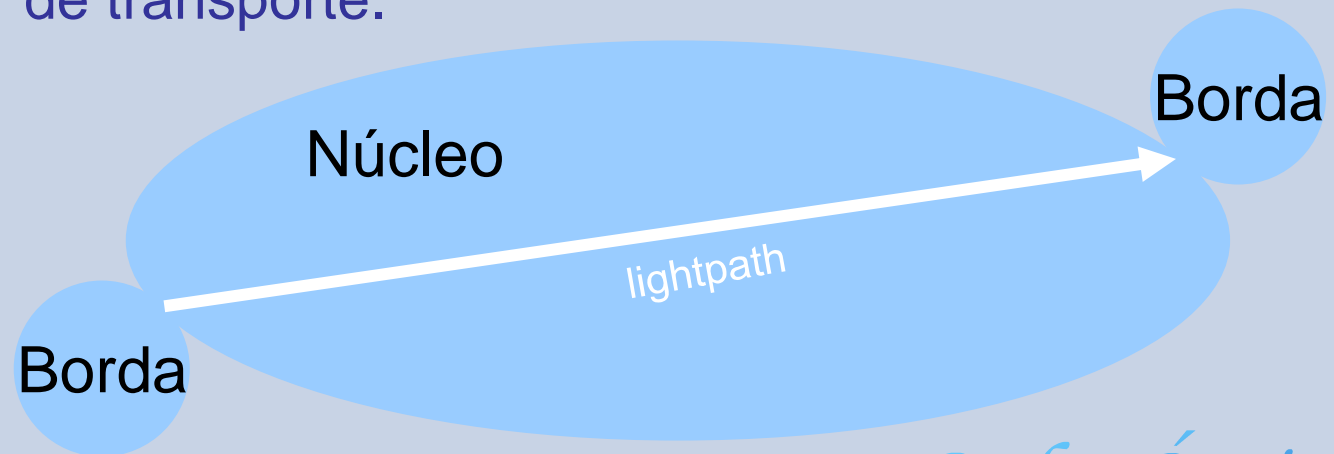


Arquitetura IP- GMPLS/DWDM

- A idéia é retirar a camada SDH/SONET para deixar a rede mais simples e barata
- É necessário algum mecanismo para a rede IP controlar a rede óptica
 - O GMPLS é o principal candidato
 - É necessário um **plano de controle**
- É necessária alguma tecnologia para fazer o enquadramento dos pacotes
 - Ethernet ou SDH

Plano de Controle e Transporte

- Redes ópticas incluem o plano de controle e o plano de transporte. As redes clientes solicitam serviços ao núcleo, que fornece esses serviços na forma de túneis de banda fixa, caminhos de luz (lightpaths). O plano de controle é responsável pela sinalização e roteamento, ou seja, possibilita que o núcleo forneça o serviço de transporte.





Plano de Controle e Transporte

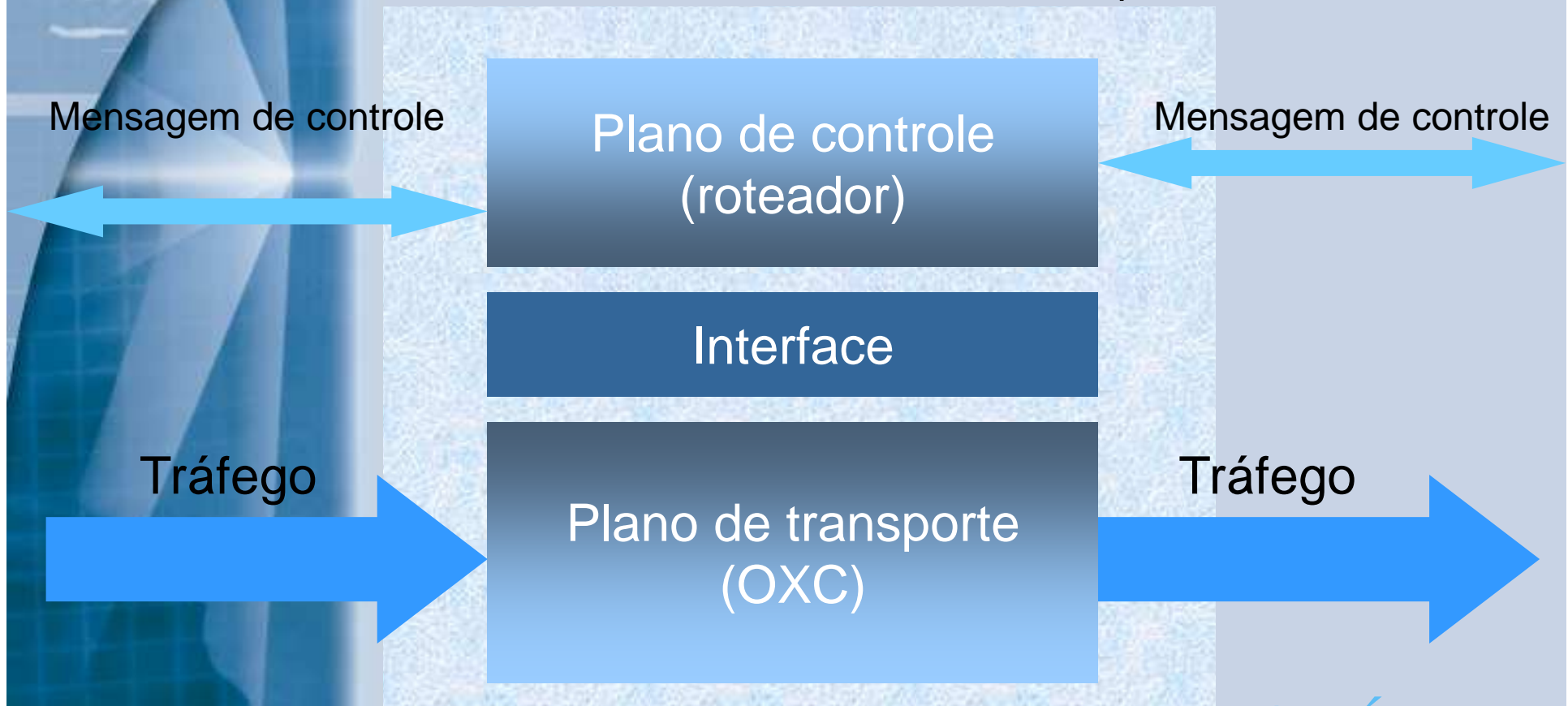
O plano de transporte das redes ópticas necessita de um plano de controle bem definido que possa atender aos vários requisitos dos serviços necessários. Porém o desenvolvimento do plano de controle é um ponto crítico na construção da rede óptica inteligente.



Plano de Controle e Transporte

- Separação das funções de controle e das funções de transporte

Nó da rede óptica



Redes Ópticas



Plano de Controle e Transporte

- Plano de controle: um conjunto de software e/ou hardware residindo em um nó da rede que executa funções de controle e gerenciamento. A implementação do plano de controle depende de protocolos, um exemplo de hardware é um roteador, exemplos de protocolos de controle são OSPF (**O**pen **S**hortest **P**ath **F**irst) e GMPLS (**G**eneralized **M**ulti-**P**rotocol **L**abel **S**witching).
- Plano de transporte: um conjunto de hardware e software que oferece o transporte de voz, dados e vídeo. Um exemplo de hardware é um OXC e um exemplo de protocolo é o IP.



Plano de Controle e Transporte

O plano de controle em um nó da rede gera tabelas de roteamento ou de rótulos e trocam essas informações com outros nós. Essas informações são utilizadas no plano de transporte para a transmissão de voz, dados e/ou vídeo. A separação entre o plano de controle e o plano de transporte faz com que o último seja independente dos protocolos utilizados no plano de controle.



Plano de Controle

- As principais funções do plano de controle de uma rede óptica são achar, rotear e conectar, essas tarefas requerem:
 - Nomeação e endereçamento
 - Um processo de roteamento para controlar o uso dos recursos da rede
 - Uma rede de sinalização que permita a comunicação entre entidades requisitando serviços e aquelas que oferecem o serviço
 - Um protocolo de controle para a configuração, manutenção e criação de lightpaths e a manutenção dos mesmos
- Além disso o plano de controle ainda deve suportar a recuperação da rede baseado no seu monitoramento, proteção e restauração.



Plano de Controle

- O desenvolvimento de protocolos de controle para redes ópticas é um ponto crítico. Tais protocolos devem ser capazes de trabalhar com outros protocolos de controle (diferentes fabricantes e desenvolvedores, diferentes tecnologias, diferentes topologias e redes de diferentes escalas). Os protocolos devem trabalhar com todos os tipos de redes ópticas do contrário, mudanças nas tecnologias ocasionaram a necessidade de mudanças nos planos de controle, o que é uma tarefa dispendiosa.
- O plano de controle é o responsável por agregar inteligência a rede óptica, o protocolo mais aceito atualmente para essa tarefa é o GMPLS (**G**eneralized **M**ulti-**P**rotocol **L**abel **S**witching).



Interfaces de Interconexão

- Interesse da indústria em soluções IP/DWDM gerou soluções proprietárias
- Para obter interoperabilidade deve-se definir:
 - Domínios de controle e pontos de acesso
 - Serviços oferecidos pelas redes de transporte através desses domínios
 - Protocolos usados para sinalizar a invocação desses serviços através de interfaces
 - Mecanismos para transportar as mensagens de sinalização
- Interfaces de controle definem pontos onde ocorre interação entre domínios de controle distintos

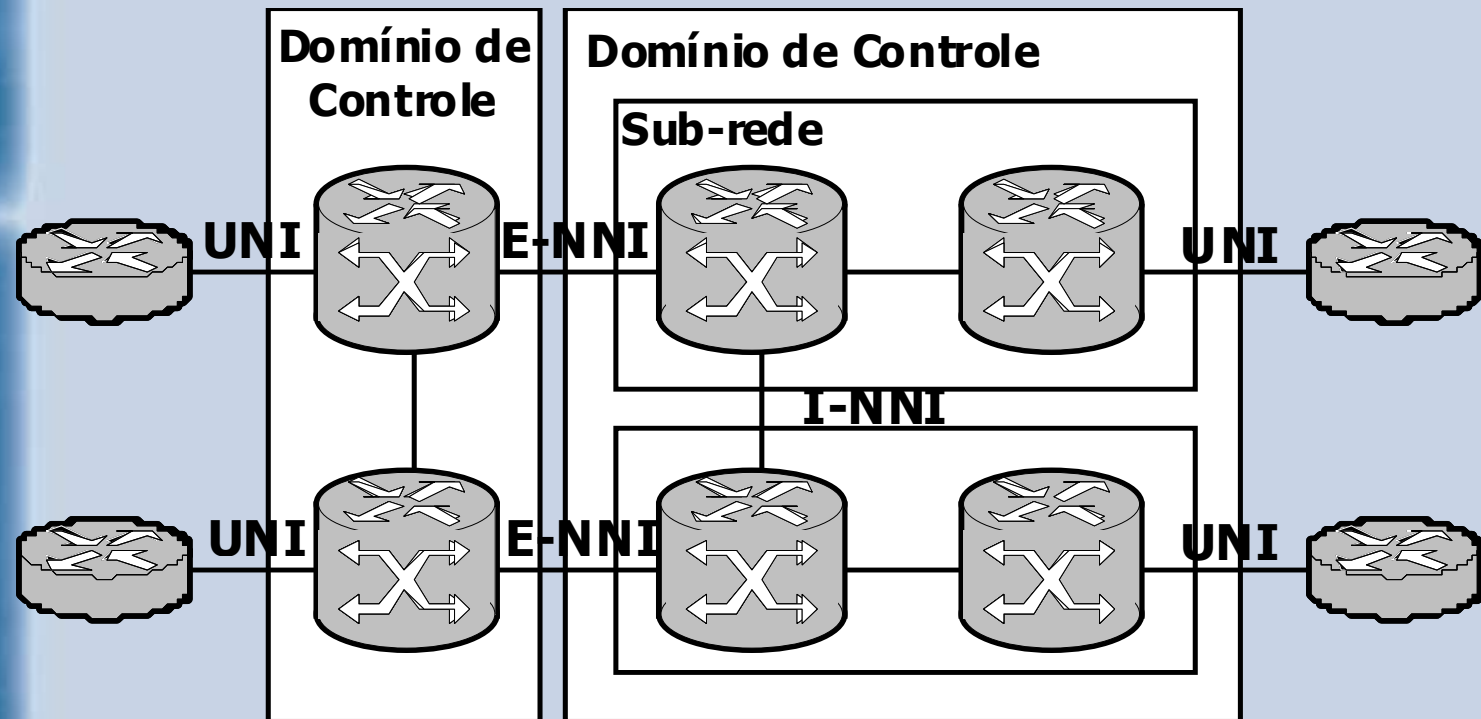
Redes Ópticas



Interfaces de Interconexão

- UNI (User-Network Interface)
 - Interface de controle entre o elemento da rede cliente e o elemento de borda da rede óptica
- E-NNI (Exterior Network-Network Interface)
 - Interface de controle entre duas redes pertencentes a domínios de controle diferentes
- I-NNI (Interior Network-Network Interface)
 - Interface de controle entre duas sub-redes dentro de um único domínio de controle

Interfaces de Interconexão



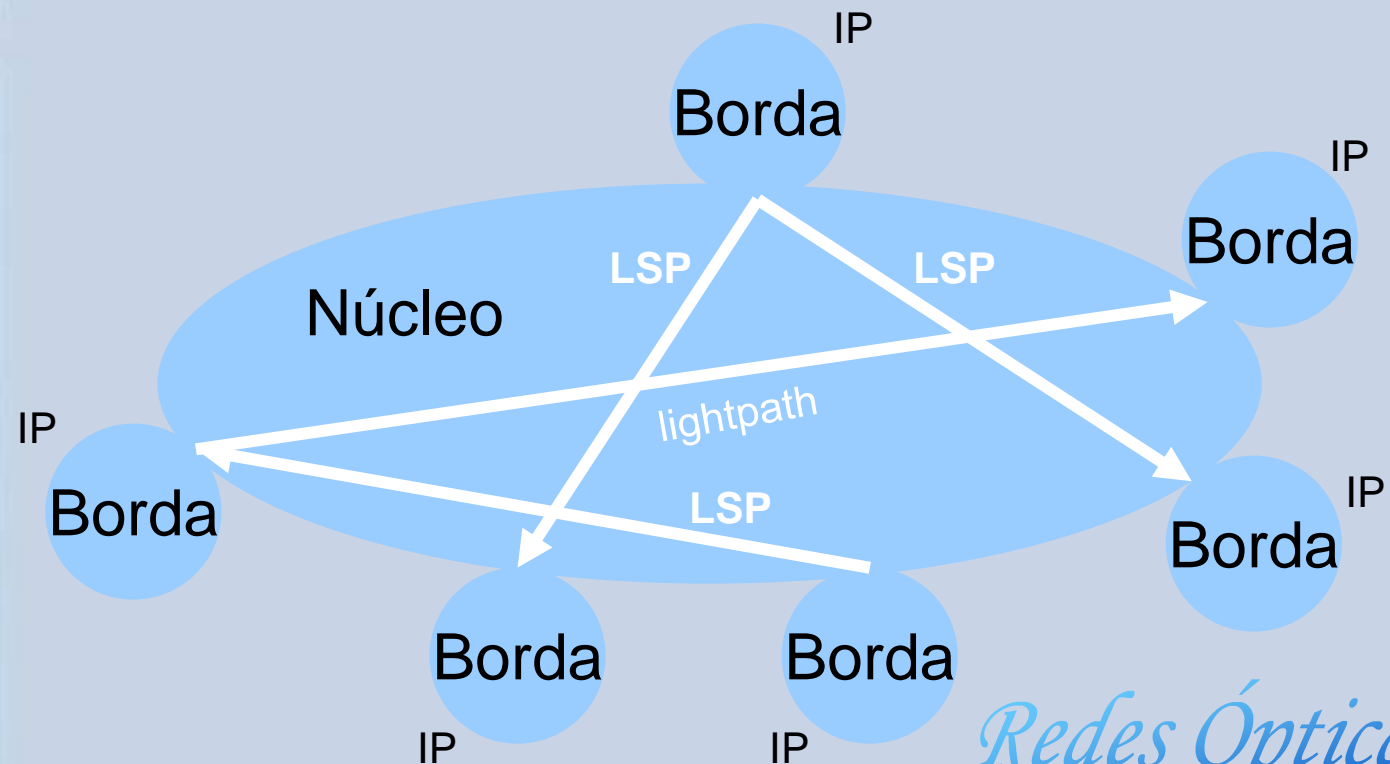


Arquiteturas e Protocolos

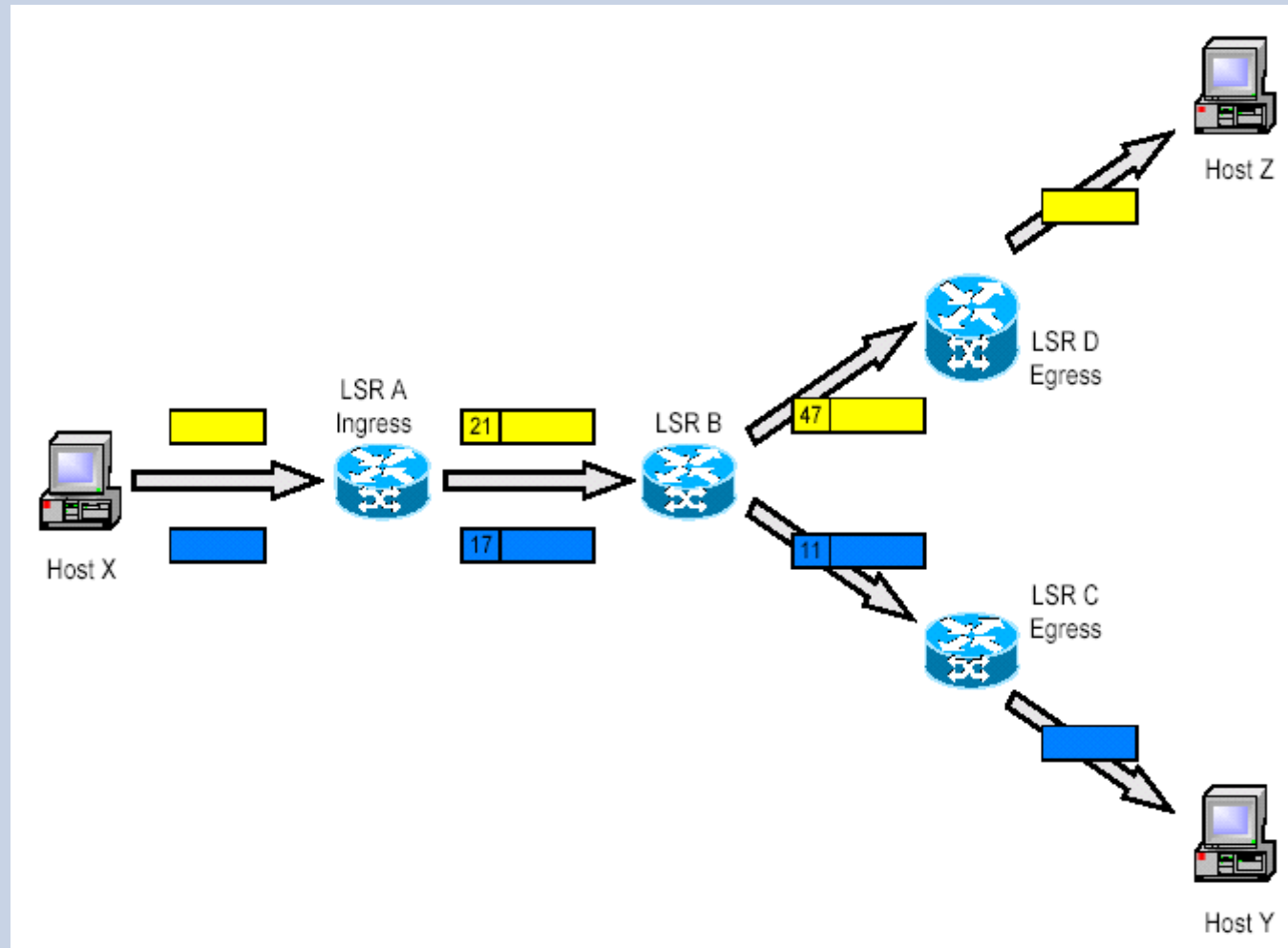
- MPLS (**M**ulti-**P**rotocol **L**abel **s**witching) está crescendo em popularidade como um protocolo para provisionamento de QoS e gerenciamento de backbones (núcleos). Essas redes podem transportar dados, voz, ou podem ser um modelo que combine ambos. E nas bordas do backbone as redes de dados tendem a usar apenas o IP.

Arquiteturas e Protocolos

- Links virtuais ou túneis (LSP, Label-Switched Path) são fornecidos através do núcleo conectando os nós nas redes de borda. O roteamento IP é suspenso e os pacotes são “comutados através de seus rótulos” até saírem do túnel. MPLS não substitui o IP, trabalha junto ao IP e outras tecnologias de roteamento existentes.



Arquiteturas e Protocolos

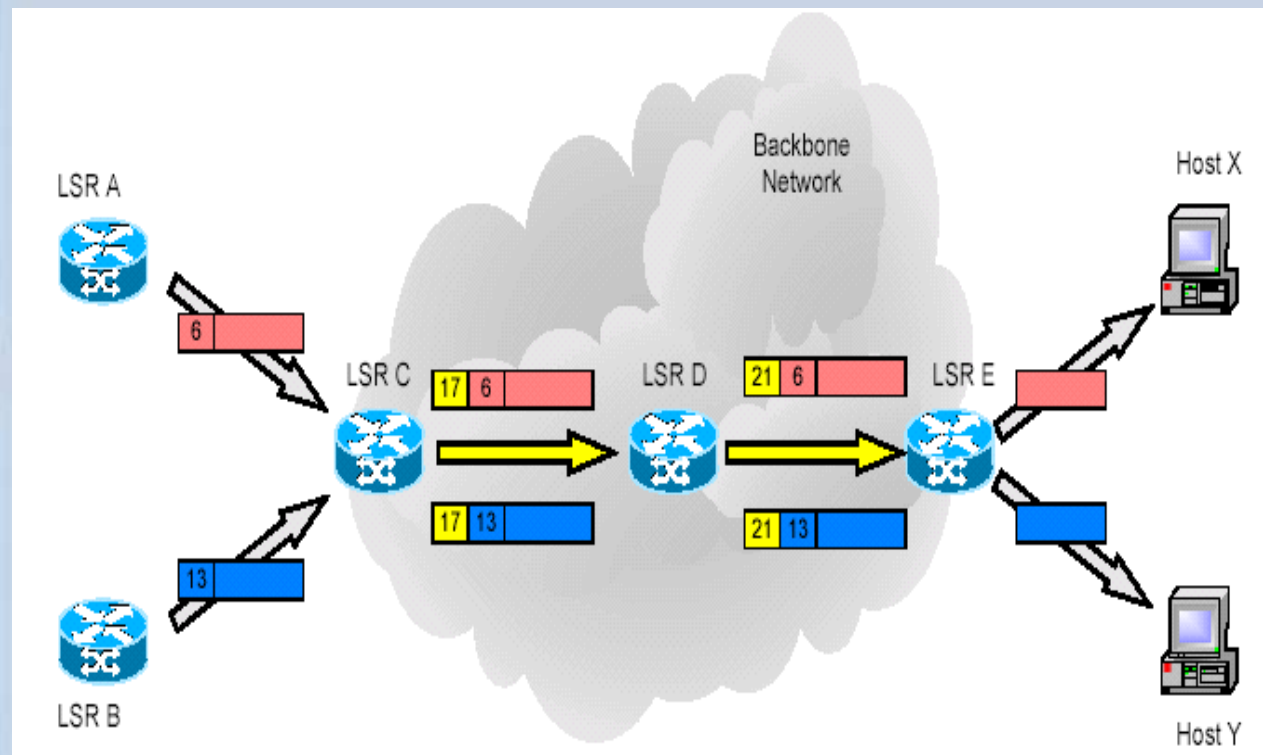




Arquiteturas e Protocolos

- Para que os LSP's possam ser utilizados as tabelas em cada LSR devem ser preenchidas com o mapeamento {interface de entrada, valor do label} - {interface de saída, valor do label}, esse processo é chamado distribuição de rótulos (LSP setup).

Arquiteturas e Protocolos

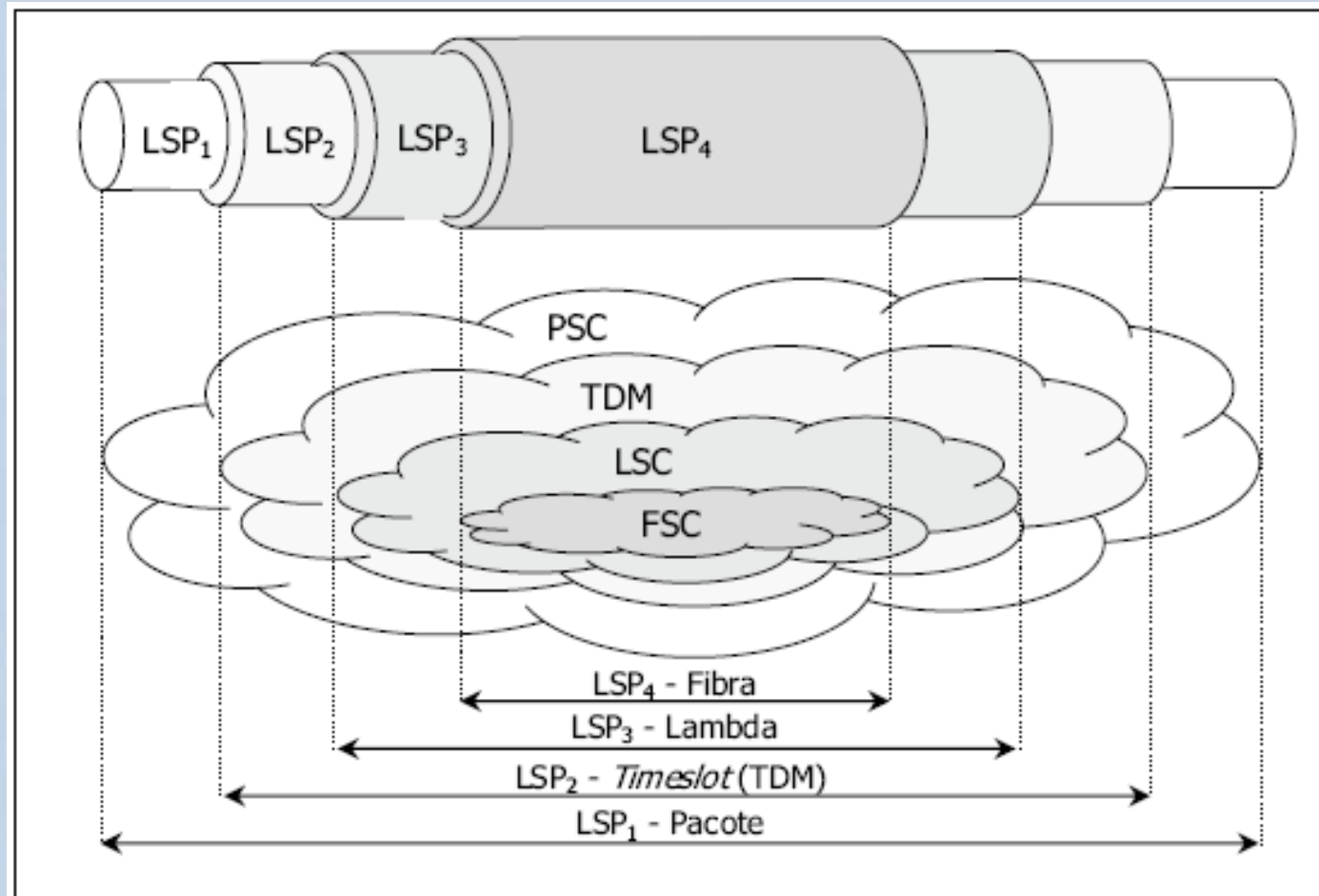




Arquiteturas e Protocolos

- Similarmente um rótulo pode corresponder a uma fibra, um comprimento de onda DWDM, ou um slot TDM. É aí que entra o GMPLS, a idéia é que um rótulo possa ser generalizado para ser qualquer coisa que identifique um fluxo de dados. Por exemplo: um comprimento de onda (λ) pode ser alocado para o tráfego de informações entre dois LSR's, logo não é necessário que todo o tráfego seja marcado com um rótulo pois implicitamente o comprimento de onda serve como rótulo.

Arquiteturas e Protocolos





Arquiteturas e Protocolos

- Não apenas uma lambda pode ser alocada para o tráfego, mas um conjunto delas, ou uma fibra inteira, etc. Logo o rótulo corresponderá ao comprimento de onda, ou ao limite inferior e superior do conjunto de lambdas, ou ao número da fibra. Dessa forma o provisionamento de QoS está diretamente ligado a reserva de LSP's.



Modelos de Serviço

- Modelo de serviço de domínio
 - O principal serviço da rede óptica é conectividade de alta capacidade através de caminhos ópticos
 - Usa sinalização padrão para criar, remover, modificar e consultar o status de caminhos ópticos
- Modelo de serviço unificado
 - As redes IP e óptica são tratadas de maneira conjunta, como uma única rede integrada, de um ponto de vista de plano de controle
 - OXC são tratados como roteadores
 - Não existe distinção entre UNI e NNI



Modelos de Interconexão

- Definem níveis de integração dos planos de controle das redes IP e óptica
 - Ou seja, roteamento e sinalização
- Modelos
 - Overlay (sobreposição): separação total
 - Peer (paridade): unificação total
 - Augmented (aumentado): integração parcial
- Modelos de interconexão estão relacionados aos modelos de serviço pretendidos



Modelo Overlay

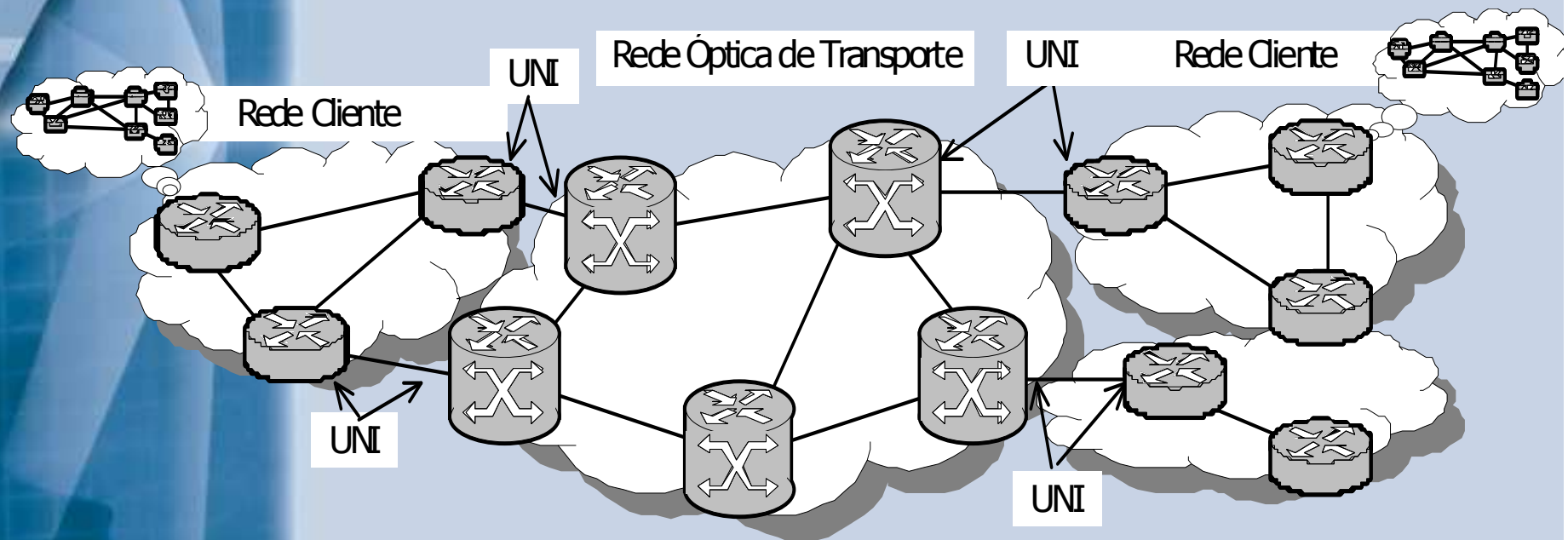
- Segue o paradigma cliente/servidor
 - Cliente: rede IP
 - Servidor: rede óptica
- A rede óptica fornece conectividade ponto a ponto para a rede IP
 - Similar ao modelo clássico de integração IP/ATM
 - Em um caso extremo, exige $O(n^2)$ adjacências de roteamento entre os roteadores
 - Pode gerar alta sobrecarga de roteamento



Modelo Overlay

- Rede IP não tem acesso à topologia da rede óptica
 - Os planos de controle são independentes
 - Utiliza a UNI para sinalização entre as redes
- Benefícios
 - Modelo mais simples de implementar
 - Atende a objetivos administrativos no caso de uma relação comercial de cliente com provedor
- Pode haver integração restrita, para troca de informações de alcançabilidade (roteamento)

Modelo Overlay

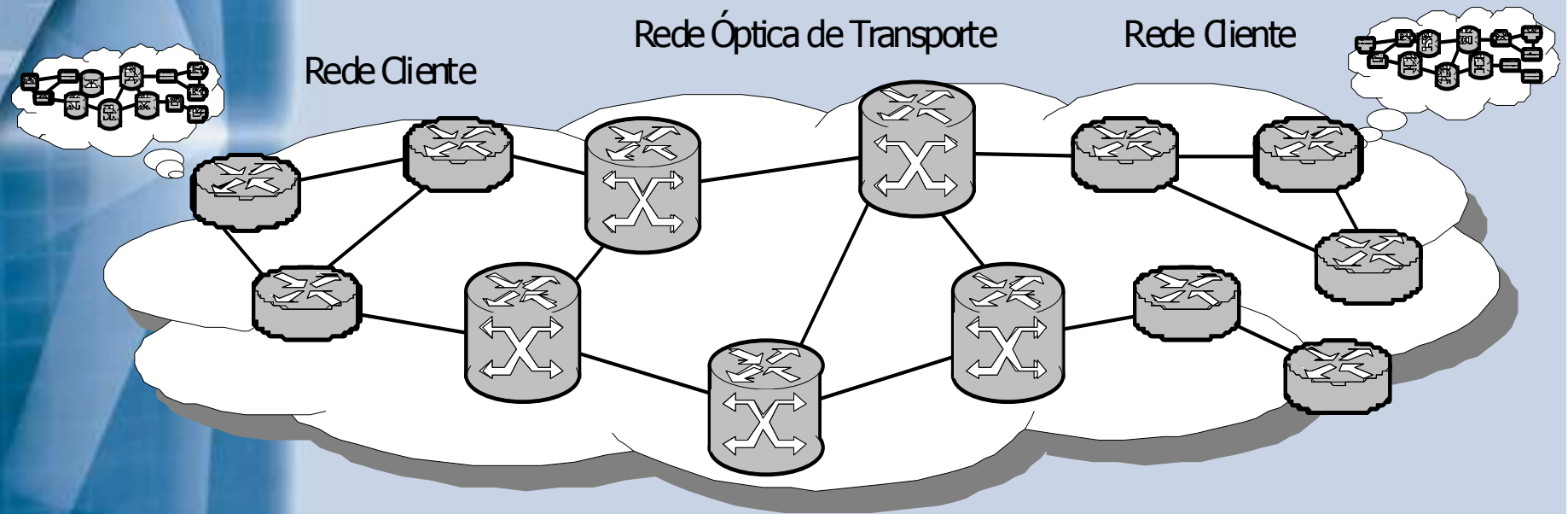




Modelo Peer

- As redes IP e óptica compartilham uma única instância do plano de controle
- Roteamento e sinalização são unificados
 - Roteadores IP e comutadores ópticos operam em conjunto
- Usa esquema de endereçamento comum para as duas redes
- A UNI perde o significado e deixa de existir
- Do ponto de vista do roteamento, o roteador de borda é adjacente do OXC ao qual ele está diretamente conectado
- É o modelo almejado para o futuro
 - Exceto em casos em que o modelo comercial não permite

Modelo Peer





Modelo Augmented

- Modelo intermediário entre os modelos Overlay e Peer, combinando funcionalidades
- Executa instâncias diferentes do protocolo de roteamento em cada rede
- Existe troca limitada de informações de topologia entre as redes
 - Compartilhamento de informações de **alcançabilidade** entre os elementos de borda
- Usa planos de controle diferentes, mas
 - Os elementos de borda participam dos dois planos de controle, ou seja, ocorre uma sobreposição



Projeto GIGA

Rede Experimental de Alta Velocidade

FUNTTEL



www.projetogiga.org.br

Redes Ópticas



Projeto GIGA

- “O Projeto Giga tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologias de redes ópticas e de IP, aplicações e serviços de telecomunicação associados a redes de banda larga”.

<http://www.rnp.br/noticias/2004/not-040415.html>

Redes Ópticas



Projeto GIGA - Objetivos

- Desenvolver tecnologias de redes e de serviços de Telecomunicações voltadas para
 - IP/WDM em Redes Ópticas
 - Serviços e Aplicações de Banda Larga
- Capacitar empresas nacionais em tecnologias competitivas de forma consorciada com Instituições de Pesquisa
- Implantar uma Rede Experimental de Alta Velocidade para testes e validações de protótipos e serviços desenvolvidos

Redes Ópticas

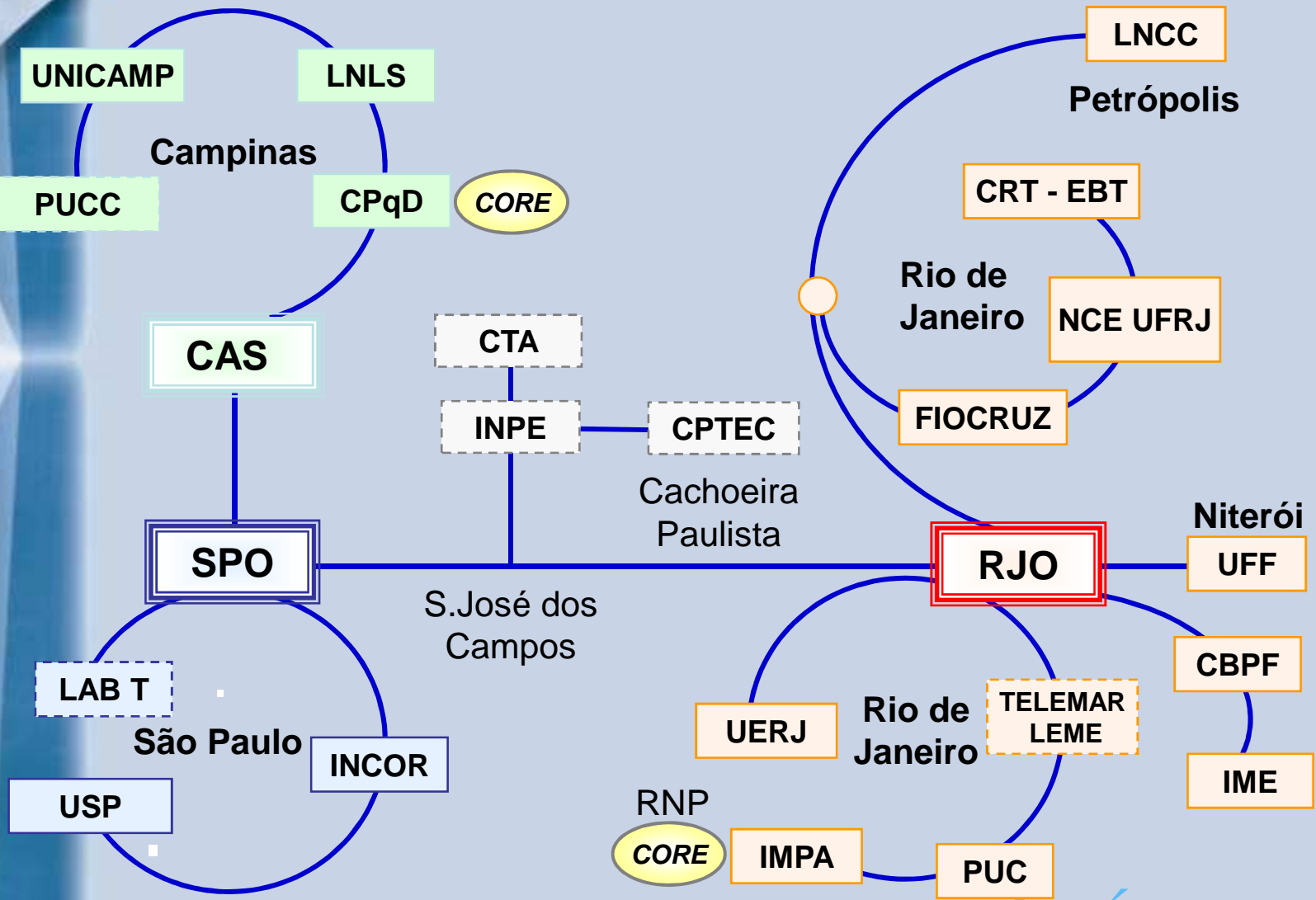


Projeto GIGA

- A rede do Projeto Giga foi implementada em maio de 2004, com 735Km de extensão. Abrangendo os municípios de Campinas, São Paulo, São José dos Campos, Cachoeira Paulista, Rio de Janeiro, Niterói e Petrópolis, a rede interconecta 17 universidades e centros de pesquisa do eixo Rio-São Paulo.
- O uso da rede se dará através de subprojetos de pesquisa e desenvolvimento. Os subprojetos selecionados pela RNP estão divulgados em www.rnp.br/pd/giga/subprojetos.html.



Rede GIGA - Topologia



Redes Ópticas



GIGA – Plano de Controle

- Desenvolvido um plano de controle para permitir à camada óptica oferecer os seguintes serviços para a rede IP:
 - Aprovisionamento dinâmico de caminhos ópticos
 - Proteção/restauração automática de caminhos ópticos
 - Reconfiguração da topologia lógica
- Utilização do modelo Overlay estendido (Augmented)



GIGA – Plano de Controle

- O Plano de Controle da Rede GIGA implementará quatro funções básicas
 - Determinação da vizinhança e dos estados de enlaces de cada nó óptico
 - Difusão dos estados dos enlaces através da rede
 - Determinação da rota e atribuição de comprimento de onda para estabelecimento do circuito óptico
 - Sinalização para estabelecimento (com ou sem recuperação) e encerramento dos circuitos ópticos



Projeto GigaMan P2P



<http://gigamanp2p.inf.ufrgs.br/>



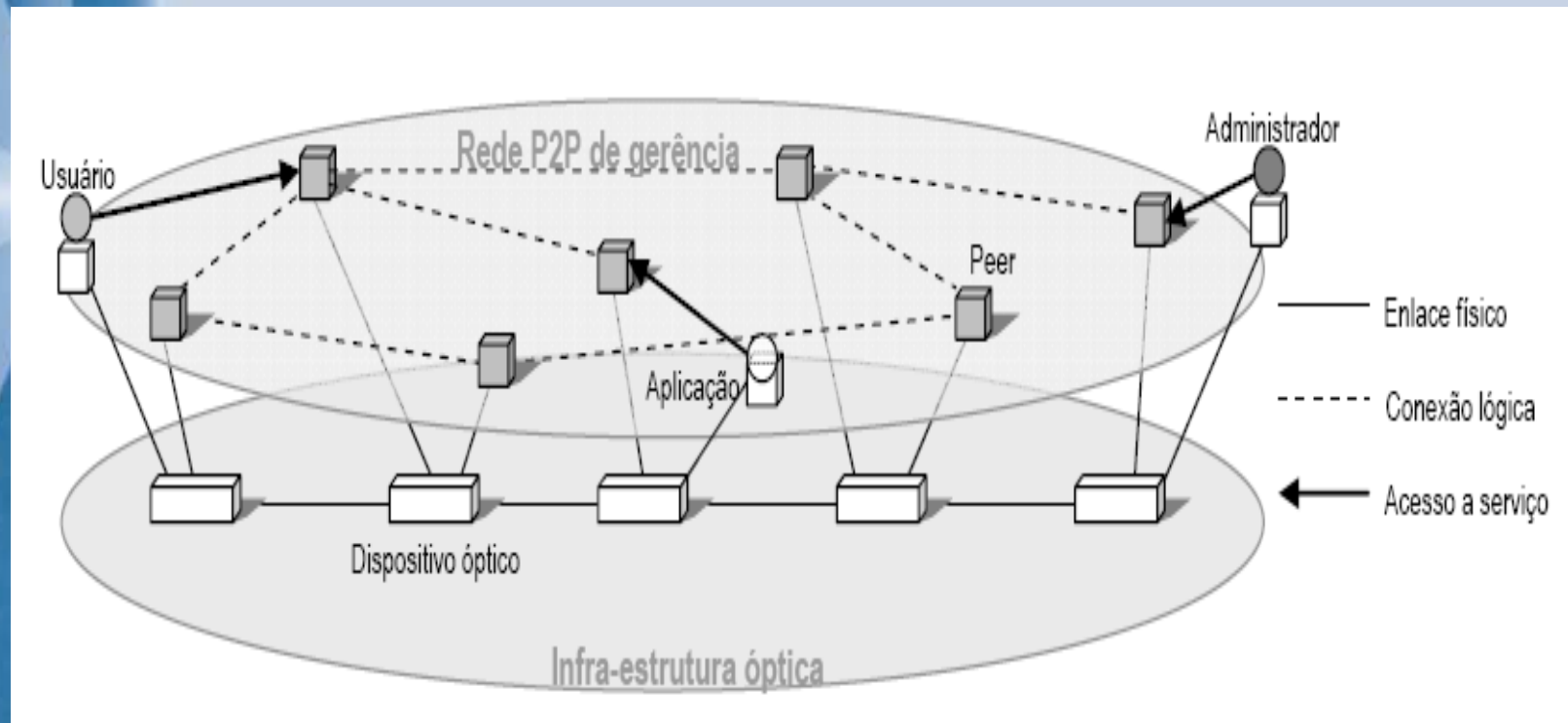
Redes Ópticas



Projeto GigaMan P2P

- Este projeto propõe o desenvolvimento e implantação de uma rede Peer-to-Peer (P2P) para gerenciamento da rede óptica do projeto GIGA.
- Essa rede P2P será composta por módulos de software (peers) localizados ao longo da rede óptica.
- Os peers terão a capacidade de receber políticas de gerenciamento e transformá-las em ações de configuração dos dispositivos da rede óptica.
- As políticas recebidas por um peer serão encaminhadas aos outros peers da rede através dos processos de difusão na rede P2P.

Rede P2P de gerência





Objetivos do Projeto GigaMan P2P

- Definição de uma infra-estrutura Peer-to-Peer (P2P) de gerenciamento para a rede do Projeto GIGA;
- Desenvolvimento de peers com capacidade de comunicação com os dispositivos ópticos da rede do Projeto GIGA;
- Desenvolvimento de interfaces de usuário (utilizando tecnologias Web) para os administradores da rede;
- Disponibilização, pela rede P2P, de serviços para execução de scripts de gerenciamento;
- Desenvolvimento do suporte nos peers a políticas de gerenciamento criadas pelos administradores da rede do projeto;
- Criação de serviços para reserva de recursos com vista a QoS;
- Implementação na infra-estrutura P2P de suporte ao rerroteamento;



Subprojetos

- Áreas Temáticas
 - Redes ópticas
 - Serviços experimentais de telecomunicações
 - Protocolos e serviços de rede
 - Serviços e aplicações científicas



Subprojetos

Taquara - Tecnologia, Aplicações e Qualidade de Serviço em Redes Avançadas	UFRJ
Rede Avançada para Pesquisa e Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos em Medicina	Incor-USP
Plataformas para o Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual Imersiva e Distribuída sobre Redes de Altíssima Velocidade	USP
Plataforma de Gerenciamento Baseado em Políticas para rede Giga	UECE
Agentes Inteligentes Aplicados ao Roteamento e Predição de Falhas em Redes Ópticas	Cefet-CE



FIM!!!

Redes Ópticas