



GUIA TÉCNICO DE REFERÊNCIA

Guia Técnico FTTH Fiber to the Home

Redes de Acesso por Fibra Óptica até ao Utilizador

Versão: 1.0 | Data: Maio de 2026

Normas: ITU-T G.984 · G.987 · G.9807.1 · G.988 · G.652 · G.657

Domínio: Telecomunicações & Redes de Acesso

Índice de Conteúdos

1. Introdução à Tecnologia FTTH	4
2. Arquitetura PON — Componentes Fundamentais	4
2.1 OLT — Optical Line Terminal	5
2.2 ODN — Optical Distribution Network	5
2.3 ONU / ONT — Equipamento de Assinante	5
2.4 Divisores Ópticos (Splitters)	6
3. Normas ITU-T — Série G.984 GPON	6
3.1 Especificações G.984.1 a G.984.7	6
3.2 Fibras G.652 e G.657	8
3.3 ITU-T G.988 — Interface OMCI	8
4. Evolução das Tecnologias PON	8
4.1 GPON (G.984)	9
4.2 XG-PON (G.987)	9
4.3 XGS-PON (G.9807.1)	9
4.4 NG-PON2	9
4.5 Tabela Comparativa	10
5. Orçamento de Potência Óptica	10
6. Instalação — Boas Práticas	12
6.1 Fusão de Fibra Óptica	12
6.2 Testes OTDR	13
6.3 Manutenção da Rede	14
7. Normas, Segurança e Regulamentação	14
8. Gestão e Otimização da Rede	16

Guia Técnico FTTH — Fiber to the Home

1. Introdução à Tecnologia FTTH

A tecnologia **FTTH (Fiber to the Home)** designa uma arquitetura de rede de banda larga em que a fibra óptica se estende diretamente desde o ponto de presença do operador até às instalações do utilizador final. Ao contrário das soluções híbridas que recorrem a cobre ou cabo coaxial no troço final, o FTTH proporciona conectividade totalmente em fibra, minimizando a atenuação do sinal e maximizando a largura de banda disponível.

O crescimento exponencial do consumo de dados, impulsionado por aplicações de vídeo em alta resolução (4K/8K), realidade virtual (RV), realidade aumentada (RA), serviços em nuvem e o paradigma da Internet das Coisas (IoT), tornou o FTTH a tecnologia de referência para redes de acesso de nova geração (NGA). A fibra óptica oferece capacidade teórica de transmissão praticamente ilimitada, imunidade a interferências eletromagnéticas e longevidade de infraestrutura superior a 30 anos.

Definição Normativa: A União Internacional de Telecomunicações (ITU-T) utiliza o termo genérico *FTTP (Fiber to the Premises)* para englobar FTTH (residencial) e FTTB (Fiber to the Building). As Redes Ópticas Passivas (PON) são a implementação tecnológica dominante no FTTH.

As **Redes Ópticas Passivas (PON — Passive Optical Networks)** são a solução arquitetural mais comum no FTTH. Numa PON, um único equipamento central serve múltiplos assinantes através de divisores ópticos passivos, sem necessidade de elementos ativos na rede de distribuição. Esta característica reduz os custos de manutenção, o consumo energético e a complexidade operacional.

A topologia PON é do tipo **ponto-a-multiponto (P2MP)**, onde uma única fibra proveniente do terminal de linha óptica (OLT) é dividida para servir múltiplos utilizadores. A multiplexagem por divisão de comprimento de onda (WDM — Wavelength Division Multiplexing) permite a transmissão bidirecional num único fio de fibra, utilizando comprimentos de onda distintos para os fluxos descendente (downstream) e ascendente (upstream).

2. Arquitetura PON — Componentes Fundamentais

Uma rede PON/FTTH é composta por três segmentos principais: o equipamento de linha óptica no ponto de presença do operador (OLT), a rede de distribuição óptica passiva (ODN) e o equipamento de rede óptica nas instalações do assinante (ONU/ONT).

2.1 OLT — Optical Line Terminal

O **OLT (Optical Line Terminal)** é o equipamento central da rede FTTH, instalado na central do operador (Central Office — CO) ou em nó de agregação. As suas funções principais são:

- Geração e transmissão do sinal óptico descendente (broadcast para todos os ONUs);
- Receção e desagregação do tráfego ascendente em modo burst proveniente dos diversos ONUs;
- Ligação aos sistemas de backhaul/uplink do operador;
- Atribuição dinâmica de largura de banda (DBA — Dynamic Bandwidth Allocation) aos ONUs através de slots de tempo (TDMA);
- Controlo e gestão dos ONUs através da interface OMCI (G.988).

O OLT agrega o tráfego de múltiplas PONs e conecta-se às redes IP do operador. É o ponto de controlo para todas as funções de plano de gestão, plano de controlo e plano de dados da rede de acesso.

2.2 ODN — Optical Distribution Network

A **ODN (Optical Distribution Network)** é o conjunto de elementos ópticos passivos que interligam o OLT aos ONUs/ONTs. Inclui:

- **Cabos de fibra óptica monomodo** (conforme ITU-T G.652 ou G.657);
- **Divisores ópticos passivos** (splitters PLC ou FBT);
- **Caixas de distribuição óptica (CDO)** — outdoor ou indoor;
- **Junções de emenda** (splice closures);
- **Conectores e adaptadores** SC/APC ou LC/APC;
- **Atenuadores ópticos passivos** (quando necessário para equalização de potência).

A natureza inteiramente passiva da ODN — sem componentes que necessitem de alimentação elétrica — é uma das principais vantagens do paradigma PON: reduz os custos de operação, elimina pontos de falha associados a fontes de alimentação e simplifica a manutenção da infraestrutura de campo.

2.3 ONU / ONT — Equipamento de Assinante

O **ONU (Optical Network Unit)** ou **ONT (Optical Network Terminal)** é o equipamento instalado nas instalações do assinante. A distinção técnica é a seguinte:

- **ONT:** serve um único assinante diretamente; é um ONU de instalação nas instalações do assinante (CPE — Customer Premises Equipment);
- **ONU:** pode ser instalado num ponto intermediário (ex.: cave de edifício) e distribuir serviços a múltiplos utilizadores através de outras interfaces.

As funções do ONU/ONT incluem a conversão do sinal óptico em elétrico (e vice-versa), a terminação do protocolo GPON/XGS-PON, a disponibilização de interfaces de serviço ao cliente (Ethernet, POTS/VoIP, IPTV via CATV RF overlay) e a resposta aos comandos de gestão OMCI do OLT.

2.4 Divisores Ópticos (Splitters)

Os **divisores ópticos (splitters)** são dispositivos passivos que dividem a potência do sinal óptico proveniente do OLT em múltiplos ramos para os ONUs. Existem dois tipos principais:

Tabela 1 Comparação entre Divisores Ópticos PLC e FBT

Característica	PLC (Planar Lightwave Circuit)	FBT (Fused Biconical Taper)
Tecnologia	Circuito de guia de onda planar em sílica	Fusão e afilamento de fibras
Rácio de divisão máx.	Até 1×128 (ou 1×64 com baixa perda)	Tipicamente até 1×8
Uniformidade do sinal	Excelente — divisão uniforme entre portas	Aceitável em rácios baixos
Gama de temperatura	-40 °C a +85 °C	Mais limitada
Custo (grande escala)	Médio-alto	Baixo
Aplicação FTTH	Preferido em implantações GPON/XGS-PON	Adequado para pequena escala

Estratégias de Divisão

- **Divisão centralizada (single-level):** um divisor de grande rácio (1×32 ou 1×64) na central; simplifica a gestão mas requer maior número de fibras no cabo de alimentação.
- **Divisão em cascata (multi-level):** dois ou mais estágios de divisão (ex.: 1×4 + 1×16 = 1:64 total); reduz fibras no troço principal mas aumenta pontos de emenda.

3. Normas ITU-T — Série G.984 GPON

A série de normas ITU-T G.984 define as especificações técnicas das Redes Ópticas Passivas com capacidade Gigabit (GPON). Estas normas são o quadro normativo de referência internacional para a implantação de redes FTTH/FTTP.

3.1 Especificações G.984.1 a G.984.7

G.984.1 — Características Gerais

Define as características gerais do GPON, incluindo exemplos de serviços suportados, interfaces de rede de utilizador (UNI) e interfaces de nó de serviço (SNI). Descreve as configurações principais de implantação e visa assegurar retro-compatibilidade com redes de distribuição óptica (ODN) conformes às séries ITU-T G.982 e G.983.x.

G.984.2 — Camada PMD (Physical Media Dependent)

Define os requisitos da camada física e as especificações ópticas para o GPON. Cobre sistemas com taxas de linha nominais de 2488,32 Mbit/s descendente e 1244,16 Mbit/s ascendente, operando bidirecionalmente numa única fibra monomodo (ITU-T G.652). Os comprimentos de onda são:

- **Descendente:** 1480 a 1500 nm (central em 1490 nm);
- **Ascendente:** 1300 a 1320 nm (central em 1310 nm).

G.984.3 — Camada de Convergência de Transmissão (TC)

Especifica o formato de trama, métodos de controlo de acesso ao meio (MAC), políticas de alocação dinâmica de largura de banda (DBA), processos de ranging e ativação, funcionalidades de gestão da camada física (PLOAM), segurança e autenticação. Esta norma define o comportamento do ONU para efeitos de teste de conformidade e interoperabilidade entre fornecedores distintos.

G.984.4 — Interface de Gestão e Controlo ONU (OMCI original)

Especifica a interface OMCI original, supersedida pela G.988, exceto nos detalhes específicos do GPON não cobertos pela norma mais recente.

G.984.5 — Banda de Melhoria (Enhancement Band)

Define as gamas de comprimento de onda reservadas para sinais de serviço adicionais mediante multiplexagem WDM, maximizando o valor das ODN existentes. Descreve o elemento de coexistência (CE) e o filtro de bloqueio no ONU.

G.984.6 — Extensão de Alcance (Reach Extension)

Define a arquitetura e os parâmetros de interface para sistemas GPON com alcance estendido, utilizando dispositivos de extensão da camada física (regeneradores ou amplificadores ópticos). Permite um alcance físico máximo de até 60 km com orçamentos de perda superiores a 27,5 dB.

G.984.7 — Longo Alcance (Long Reach)

Publicada em julho de 2010, aborda capacidades de longo alcance para GPON, complementando a G.984.6 para cenários de implantação mais extensos.

3.2 Fibras G.652 e G.657

A norma **ITU-T G.652** define as características da fibra óptica monomodo standard (SSMF — Standard Single-Mode Fiber). É a fibra especificada na G.984.2 para operação bidirecional GPON. Oferece:

- Atenuação nominal de 0,35 dB/km a 1310 nm e 0,20 dB/km a 1550 nm;
- Comprimento de onda de dispersão zero entre 1300 e 1324 nm;
- Diâmetro do modo de campo: $9,2 \pm 0,4 \mu\text{m}$ a 1310 nm.

A norma **ITU-T G.657** define fibras ópticas monomodo com menor sensibilidade à curvatura (bend-insensitive), especialmente vantajosas em implantações FTTH onde a fibra é sujeita a raios de curvatura pequenos. Existem duas subcategorias:

- **G.657.A:** compatível com G.652, admite raios de curvatura de 10 mm;
- **G.657.B:** maior tolerância à curvatura (raios até 5 mm), para instalações interiores extremas.

3.3 ITU-T G.988 — Interface de Gestão e Controlo OMCI

A norma **ITU-T G.988** define a Interface de Gestão e Controlo do ONU (OMCI — ONU Management and Control Interface). É a norma de referência para a gestão de ONUs em redes de acesso óptico de qualquer geração PON padronizada após o GPON.

A G.988 especifica:

- As **entidades geridas (ME — Managed Entities)** de uma base de informação de gestão (MIB) independente de protocolo;
- O **canal OMCI** e os protocolos de comunicação entre OLT e ONU;
- As mensagens detalhadas de configuração, monitorização de alarmes, relatórios de desempenho e controlo de software.

Nota Normativa: Os comandos OMCI têm origem no OLT mas a lógica de decisão pode residir num sistema de gestão externo (OSS/BSS) ou num operador humano. A G.988 supersede a G.984.4, mantendo validade para detalhes GPON-específicos não cobertos pela nova norma.

4. Evolução das Tecnologias PON

A evolução das tecnologias PON foi impulsionada pela crescente procura de largura de banda e pela necessidade de suportar aplicações emergentes. O ITU-T standardizou um conjunto coerente de especificações PON que permitem coexistência na mesma infraestrutura ODN.

4.1 GPON — Gigabit Passive Optical Network (G.984)

O **GPON** é a tecnologia PON mais implantada a nível mundial, dominando o mercado FTTH pela sua relação custo-desempenho. As suas características técnicas fundamentais são:

- Taxas de linha: **2488,32 Mbit/s descendente** e **1244,16 Mbit/s ascendente**;
- Transmissão assimétrica (downstream maior que upstream);
- Multiplexagem temporal (TDM) no sentido descendente e acesso múltiplo por divisão temporal (TDMA) no sentido ascendente;
- Encapsulamento GEM (GPON Encapsulation Method);
- Rácio de divisão máximo: 1:128; alcance máximo físico: 20 km;
- Cifrado AES para proteção do tráfego descendente.

4.2 XG-PON — 10 Gigabit-capable Passive Optical Network (G.987)

O **XG-PON** (também designado 10G-PON), aprovado em 2010, é a evolução direta do GPON. Oferece capacidade assimétrica de 10 Gbit/s, utilizando comprimentos de onda distintos que permitem a coexistência com GPON na mesma ODN:

- Taxa descendente: **9953,28 Mbit/s** (nominal 10 Gbit/s);
- Taxa ascendente: **2488,32 Mbit/s** (nominal 2,5 Gbit/s);
- Comprimento de onda descendente: 1575–1580 nm (central 1577 nm);
- Comprimento de onda ascendente: 1260–1280 nm (central 1270 nm);
- Encapsulamento XGEM; rácio de divisão máximo: 1:256.

4.3 XGS-PON — 10 Gigabit Symmetrical Passive Optical Network (G.9807.1)

O **XGS-PON**, aprovado em 2016, introduz simetria na transmissão a 10 Gbit/s, adequando-se a aplicações empresariais e residenciais de alta exigência:

- Taxa descendente e ascendente: **9953,28 Mbit/s** (nominal 10 Gbit/s) — *simétrico*;
- Comprimentos de onda idênticos ao XG-PON, permitindo coexistência com GPON na mesma ODN;
- Utilização de TDM/TDMA; rácio de divisão: 1:128.

4.4 NG-PON2 — Next Generation Passive Optical Network 2

O **NG-PON2** representa a geração seguinte de PON de alta capacidade, utilizando multiplexagem por divisão de comprimento de onda (TWDM — Time and Wavelength Division Multiplexing) para atingir débitos agregados de até 40 Gbit/s:

- Débito agregado descendente e ascendente: até **40 Gbit/s** (4 comprimentos de onda × 10 Gbit/s);
- Transmissão simétrica; compatibilidade com infraestruturas ODN existentes;
- Suporte a ONUs sintonizáveis em comprimento de onda.

4.5 Tabela Comparativa das Tecnologias PON

Tabela 2 Comparação técnica das tecnologias PON ITU-T

Especificação	GPON (G.984)	XG-PON (G.987)	XGS-PON (G.9807.1)	NG-PON2
Aprovação	2003–2008	2010	2016	2015–2016
Taxa desc. (Gbit/s)	2,488	9,953	9,953	Até 40
Taxa asc. (Gbit/s)	1,244	2,488	9,953	Até 40
Simetria	Assimétrica	Assimétrica	Simétrica	Simétrica
Lambda desc. (nm)	1480–1500	1575–1580	1575–1580	Múltiplos
Lambda asc. (nm)	1290–1330	1260–1280	1260–1280	Múltiplos
Rácio div. máx.	1:128	1:256	1:128	1:256+
Alcance máx. (km)	20 (60 c/ ext.)	100	100	40+
Encapsulamento	GEM	XGEM	XGEM	TWDM
Coexistência GPON	—	Sim (WDM)	Sim (WDM)	Sim

Transição Tecnológica: O XG-PON e o XGS-PON utilizam os mesmos comprimentos de onda, pelo que não podem coexistir simultaneamente na mesma ODN. A coexistência de ambos com o GPON é possível graças à separação WDM, permitindo migrações graduais sem necessidade de substituir a infraestrutura passiva de campo.

5. Orçamento de Potência Óptica

O **orçamento de potência óptica** é um cálculo fundamental no dimensionamento de redes FTTH. Garante que a potência do sinal óptico é suficiente para percorrer o trajeto entre o OLT (transmissor) e o ONU/ONT (recetor), mantendo-se acima do limiar de sensibilidade do recetor com margem de segurança adequada.

5.1 Parâmetros Fundamentais

Tabela 3 Parâmetros do Orçamento de Potência Óptica

Parâmetro	Símbolo	Valores Típicos	Unidade
Potência de transmissão OLT	P_tx	-3 a +7 dBm (classe B+/C+)	dBm
Sensibilidade do recetor ONU	P_rx	-28 a -8 dBm (APD)	dBm
Atenuação fibra (1310 nm)	alfa_f	0,40 dB/km	dB/km
Atenuação fibra (1490 nm)	alfa_f	0,30 dB/km	dB/km
Perda por emenda de fusão	L_s	0,10 dB/emenda	dB
Perda por conector	L_c	0,75 dB/conector	dB
Perda divisor 1:32	L_sp	17–18 dB	dB
Perda divisor 1:64	L_sp	20–21 dB	dB
Margem de segurança	M	3 dB (mínimo recomendado)	dB

5.2 Fórmula de Cálculo

$$\text{Orçamento (dB)} = P_{\text{tx}} \text{ (dBm)} - P_{\text{rx}} \text{ (dBm)}$$

$$\text{Perdas_totais (dB)} = \text{alfa_f} \times D + L_{\text{sp}} + N_{\text{s}} \times L_{\text{s}} + N_{\text{c}} \times L_{\text{c}}$$

$$\text{Margem (dB)} = \text{Orçamento} - \text{Perdas_totais}$$

$$\text{Condição de operabilidade: Margem} \geq 3 \text{ dB}$$

Onde: D = distância total de fibra (km), N_s = número de emendas, N_c = número de conectores

5.3 Exemplo de Cálculo Prático

Cenário típico GPON com divisor 1:16:

- Potência de transmissão OLT: +5 dBm; sensibilidade ONU: -14 dBm;
- Atenuação da fibra: 0,35 dB/km; perda do divisor 1:16: 14 dB;
- 2 emendas \times 0,10 dB = 0,20 dB; 2 conectores \times 0,75 dB = 1,50 dB.

Orçamento disponível = $5 - (-14) = 19$ dB
 Perdas fixas = $14 + 0,20 + 1,50 = 15,70$ dB
 Perdas de fibra disponíveis = $19 - 15,70 = 3,30$ dB
 Distância máxima = $3,30 / 0,35 = 9,4$ km

Atenção: Rádios de divisão mais elevados aumentam significativamente a perda de inserção do divisor, reduzindo o alcance máximo e a margem disponível. O dimensionamento deve equilibrar o rácio de divisão desejado com o orçamento de potência e a distância a servir.

5.4 Classes de Orçamento GPON (ITU-T G.984.2)

Tabela 4 Classes de Orçamento de Perda Óptica GPON

Classe	Orçamento (dB)	Divisão máx. típica	Aplicação
A	5 a 20 dB	1:16	Alcance curto
B	10 a 25 dB	1:32	Implantações standard
B+	13 a 28 dB	1:64	Implantações de larga escala
C+	17 a 32 dB	1:128	Longa distância / alta divisão

6. Instalação — Boas Práticas

6.1 Fusão de Fibra Óptica

A **fusão de fibra óptica** é a técnica primária para a realização de emendas permanentes em redes FTTH. Cria uma ligação de baixa perda por fusão das extremidades das fibras num arco elétrico. Os valores de referência para emendas de qualidade são:

- **Perda de inserção:** 0,02 dB (fibra monomodo);
- **Perda de retorno:** 60 dB (emenda APC — Angled Physical Contact);
- **Integridade mecânica:** 95% da resistência à tração da fibra.

Processo de Fusão — Passo a Passo

- **1. Desencapamento:** remoção do revestimento (buffers de 250 μm / 900 μm) com descascador de dupla lâmina; comprimento 30–40 mm; inspeção de entalhes.

- **2. Limpeza:** eliminação de contaminantes com álcool isopropílico (IPA) a 99,9% e panos sem fio; limpeza unidirecional 2–3 vezes; inspeção sob ampliação.
- **3. Clivagem:** corte perpendicular com clivador de precisão (tolerância de ângulo 0,2°); comprimento 10–16 mm; corte imperfeito pode aumentar a perda em 0,2–0,5 dB.
- **4. Alinhamento e fusão:** carregamento no aparelho de fusão; alinhamento automático por visão (precisão 0,1 µm); verificação do alinhamento nos eixos X/Y.
- **5. Proteção da emenda:** manga termoretráctil sobre a emenda; cura na unidade de aquecimento (180 °C durante 60 segundos).

Tipos de Aparelhos de Fusão

Tabela 5 Tipos de Aparelhos de Fusão e Aplicações

Tipo	Alinhamento	Precisão	Aplicação Típica
Por núcleo (core)	Pelo núcleo da fibra	Muito alta	Redes de backbone; infraestrutura crítica
Por casca (cladding)	Pela casca (cladding)	Alta	FTTH/LAN; custo mais reduzido
Fibra única	Individual	Alta	Controlo total da emenda
Fibra em fita (ribbon)	Múltiplas fibras (até 12)	Alta	Centros de dados; alta densidade

6.2 Testes OTDR

O **OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)** é o instrumento indispensável para verificar a integridade de instalações de fibra óptica em redes FTTH. Funciona por envio de pulsos de luz e análise do retroespalhamento e reflexões ao longo da fibra.

Finalidades do Teste OTDR

- Identificação de falhas e irregularidades no cabo;
- Verificação da integridade e desempenho de emendas;
- Caracterização completa do troço de fibra (perdas, distâncias, eventos);
- Detecção de macrocurvaturas causadoras de perda significativa (0,5–1,0 dB);
- Documentação da rede como instalada (*as-built*).

Protocolo de Teste Recomendado

- Realizar testes bidirecionais (lançar OTDR de ambas as extremidades da fibra);
- Verificar a perda de inserção (0,05 dB para emendas calibradas) e a perda de retorno (55 dB para SMF);
- Confirmar a continuidade com curva de retroespalhamento suave;

- Utilizar comprimentos de onda 1310/1490/1550 nm conforme a tecnologia PON instalada;
- Registrar todos os resultados para referência futura e resolução de incidentes.

6.3 Manutenção da Rede

Resolução de Problemas Comuns

Tabela 6 Problemas frequentes de fusão e soluções

Problema	Causa Típica	Solução
Perda de inserção elevada	Extremidades sujas ou desalinhamento	Relimpeza, reclivagem e revisão dos registos de alinhamento
Bolha na emenda	Humidade ou pó na lacuna do arco	Substituição dos elétrodos e relimpeza das fibras
Não fusão da fibra	Potência de arco insuficiente	Recalibração da corrente de arco e verificação do tipo de fibra
Reflexão excessiva	Extremidades rugosas ou lacunas de ar	Reclivagem e inspeção da lâmina do clivador

Manutenção Preventiva

- **Aparelhos de fusão:** limpeza das calhas em V semanalmente com palito e IPA; substituição de elétrodos a cada 500 emendas;
- **OTDRs:** calibração anual; limpeza de conectores com kit de limpeza de fibra antes de cada utilização;
- **Armazenamento:** guardar aparelhos em malas limpas, sem pó, acolchoadas e resistentes a choques.

7. Normas, Segurança e Regulamentação

7.1 Normas Técnicas de Referência

Tabela 7 Normas técnicas aplicáveis a redes FTTH

Norma	Âmbito
ITU-T G.652	Características da fibra óptica monomodo standard
ITU-T G.657	Fibras de baixa sensibilidade à curvatura (bend-insensitive)
ITU-T G.984.x	Série GPON — especificações físicas, de convergência e gestão

ITU-T G.987	XG-PON — 10G PON assimétrico
ITU-T G.9807.1	XGS-PON — 10G PON simétrico
ITU-T G.988	Interface OMCI para gestão de ONUs
TIA/EIA-568	Cabos de telecomunicações para edifícios comerciais
TIA/EIA-455 (FOCIS)	Normas de teste para sistemas de fibra óptica
IEEE 802.3	Ethernet sobre fibra (10GBASE, 40GBASE)
ISO/IEC 11801	Sistemas de cablagem genérica para edifícios
ISO/IEC 14763-2	Gestão operacional de rede, documentação e testes
ANSI/TIA-606	Etiquetagem e registos de infraestrutura
IEC 61300-3-35	Perda de inserção de emendas
Telcordia GR-20	Resistência ambiental e mecânica de cabos de fibra

7.2 Normas de Segurança na Instalação

- **Segurança Laser:** a fibra óptica transmite radiação laser invisível (1310–1550 nm) potencialmente perigosa para os olhos; nunca observar diretamente a extremidade de uma fibra ativa sem equipamento de proteção adequado;
- **Manuseamento de Fibra:** as aparas de fibra óptica podem causar ferimentos nos olhos e na pele — utilizar proteção ocular e recolher todos os fragmentos após clivagem;
- **NEC (EUA) — Artigos 250 e 770:** aterramento, proteção contra incêndio e regulamentos de segurança de fibra em edifícios;
- **OSHA (EUA):** orientações de segurança para trabalhos de vala, espaços confinados e manuseamento de materiais perigosos.

7.3 Regulamentação em Portugal e na UE

- **ANACOM (Portugal):** Autoridade Nacional de Comunicações — regula o acesso às infraestruturas de telecomunicações e aprova condições de implantação de redes FTTH;
- **Diretiva (UE) 2014/61/UE:** medidas destinadas a reduzir os custos de implantação de redes de comunicações eletrónicas de alta velocidade;
- **RGPD (UE) 2016/679:** Regulamento Geral de Proteção de Dados — aplicável ao tráfego e dados dos utilizadores transmitidos nas redes de fibra.

8. Gestão e Otimização da Rede

8.1 Planeamento e Conceção

- **Análise de mercado e estudos de viabilidade:** compreensão da procura, análise competitiva, viabilidade técnica, económica e regulatória; estudos demográficos e análise custo-benefício;
- **Conceção da topologia:** definição do traçado dos cabos de fibra óptica, pontos de distribuição e interligações; otimização para eficiência de transmissão e expansibilidade futura;
- **Planeamento de escalabilidade:** incorporar flexibilidade para upgrades sem perturbações significativas (ex.: pré-instalação de condutas, reserva de fibras escuras);
- **GIS e Cartografia:** utilização de Sistemas de Informação Geográfica para otimização de rotas, gestão de ativos e coordenação com outras infraestruturas.

8.2 Monitorização em Tempo Real

- Implementação de ferramentas de monitorização robustas para acompanhar o desempenho e identificar estrangulamentos, latências elevadas ou interrupções de serviço;
- Análise regular de padrões de utilização de largura de banda para antecipar necessidades de capacidade;
- Integração com sistemas OSS/BSS do operador para gestão end-to-end;
- Monitorização dos ONUs via OMCI (G.988) — alarmes de sinal, contadores de erro, métricas de desempenho.

8.3 Segurança da Rede

- **Auditorias de segurança periódicas:** avaliações de deteção de intrusões e análises de vulnerabilidades;
- **Proteção do tráfego GPON:** cifrado AES-128 no sentido descendente (norma G.984.3);
- **Proteção do plano de gestão:** autenticação dos ONUs (certificados digitais BPI+); gestão segura via SNMPv3;
- **QoS (Quality of Service):** políticas de formatação de tráfego e ajustes de QoS; priorização de serviços críticos (VoIP, IPTV).

8.4 Documentação e Etiquetagem

A documentação rigorosa é fundamental para a operação eficiente de redes FTTH:

- Registo de rotas de cabo, pontos de emenda e localizações de terminação;
- Etiquetagem adequada de todas as fibras, conectores e equipamentos (conforme ANSI/TIA-606);
- Arquivo dos certificados de medição OTDR para referência futura e resolução de incidentes;
- Atualização contínua dos registos após qualquer intervenção na rede.

9. Referências e Bibliografia

- [1] ITU-T. (2008). *G.984.1 — Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*. International Telecommunication Union. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1>
- [2] ITU-T. (2003). *G.984.2 — GPON: Physical Media Dependent (PMD) layer specification*. International Telecommunication Union.
- [3] ITU-T. (2014). *G.984.3 — GPON: Transmission convergence layer specification*. International Telecommunication Union.
- [4] ITU-T. (2019). *G.988 — ONU management and control interface (OMCI) specification*. ITU. <https://en.wikipedia.org/wiki/G.988>
- [5] ITU-T. (2010). *G.987 — 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON)*. ITU. <https://en.wikipedia.org/wiki/10G-PON>
- [6] ITU-T. (2016). *G.9807.1 — 10-Gigabit-capable symmetric passive optical networks (XGS-PON)*. International Telecommunication Union.
- [7] Tarluz. (n.d.). *Specification differences among GPON, XG-PON and XGS-PON*. <https://www.tarluz.com/ftth/specification-differences-among-gpon-xg-pon-and-xgs-pon/>
- [8] FS.com. (n.d.). *XG-PON and XGS-PON: Understanding the principles and applications*. <https://www.fs.com/blog>
- [9] Dekam Fiber. (n.d.). *GPON vs FTTH*. <https://dekam-fiber.com/gpon-vs-ftth/>
- [10] APNIC Blog. (2024). *GPON power budget calculations*. <https://blog.apnic.net/2024/11/14/gpon-power-budget-calculations/>
- [11] VSOLCN. (n.d.). *Design FTTH network split level and split ratio*. <https://www.vsolcn.com/blog/design-ftth-network-split-level-and-split-ratio.html>
- [12] Weunion Fiber. (n.d.). *Mastering optical fiber fusion splicing: A comprehensive technical guide*. <https://www.weunionfiber.com>
- [13] Amerifiber. (n.d.). *Fusion splicer guide*. <https://amerifiber.com/fusion-splicer/>
- [14] Splice.me. (2024). *Standards and regulations in FTTH networks*. <https://splice.me/blog/standards-and-regulations-in-ftth-networks/>
- [15] ANETFIBER. (2024). *Essential FTTH deployment: Best practices, trends, and ROI*. <https://catheria.anetfiber.com/ftth-deployment-essentials-explained/>

- [16] VC4. (2024). *FTTH network planning and operations in telecom*. <https://www.vc4.com/blog/ftth-network-planning-and-operations-in-telecom/>
-
- [17] ITU-T Study Group 15. (n.d.). *G.984 Gigabit Passive Optical Networks* [Flyer]. https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2017-2020/15/Documents/flyers/Flyer_ITU-T_G.984.pdf
-
- [18] ANACOM. (n.d.). *Redes de nova geração em Portugal*. <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340461>
-
- [19] Broadband Library. (n.d.). *How do we use optical power budgets?* <https://broadbandlibrary.com/how-do-we-use-optical-power-budgets/>
-
- [20] IEEE. (2018). *IEEE 802.3 — Ethernet standard*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
-