

INFRAESTRUTURA ÓPTICA

SEM SEGREDOS

O GUIA REAL DAS OPERADORAS TIER-1

(DO CAMPO AO CORE)



- ✓ **PARAFUSOS CERTOS**
- ✓ **CONFIGURAÇÕES REAIS**
- ✓ **PADRÕES DE TIER-1**

Wagner R Bomfim

Infraestrutura Óptica Sem Segredos

O Guia Real das Operadoras Tier-1

Do Componente à Operação – Arquitetura, Fornecedores e Procedimentos para Redes de Telecomunicações

Feito para: Engenheiros de Planejamento, Projetistas OSP, Equipes de Field Engineering, NOC Nível 3, Datacenter Providers.

Diferencial: O livro não ensina teoria de fibra óptica. Ensina exatamente qual parafuso usar no poste da (Vivo, TIM, Claro), qual o template de configuração para interoperar um roteador Cisco ASR9k com uma OLT Huawei MA5800, e qual o procedimento de aceitação (ATP) exigido por um hyperscaler (Google/Meta) para aluguel de fibra escura.

AMOSTRA

Sumário Completo

Volume I: A Camada Física (Infraestrutura e Planta Externa)

Capítulo 1: Detalhamento de Componentes – A Lista de Materiais (BOM) de uma Operadora Tier-1

- 1.1 Fibras Ópticas: G.652.D (SMF-28 Ultra) vs. G.657.A1/A2 (Flexibilidade para FTTH).
Especificações de decaimento (IL) e reflectância (ORL) aceitas pela Anatel e grandes operadoras.
- 1.2 Cabos: Tipos, construção e fornecedores (Furukawa, Prysmian, Corning).
 - Cabos de Tubo Solto (Loose Tube) com gel vs. fita seca (dry water-blocking).
 - Cabos de Fita (Ribbon) para alta densidade (3456 fibras).
- 1.3 Conectores e Adaptadores: FC/APC x SC/APC x LC/UPC. Padrões de polimento. Por que a Claro exige APC em toda planta externa.

AMOSTRA

- 1.4 Cordões Ópticos (Jumpers): Modo de entrega (simplex, duplex, fan-out). Especificações de tração e raio de curvatura mínimo.
- 1.5 Caixas de Emenda (CDE/CEOs): Vedação IP68, organização de bandejas.
- 1.6 Dutos e Subterrâneo: Conduíte de 40mm, 50mm e 100mm. Microdutos para blow fiber.

Capítulo 2: Ferramentas e Instrumentação de Campo

- 2.1 Fusores: Fujikura 70S (single) vs. Fujikura 90R (mass fusion). Parâmetros de calibração e ajuste de arco.
- 2.2 Fontes e Power Meters: Procedimento de referenciamento (0dB) para medição de perda precisa.
- 2.3 OTDR: Configuração de pulso (largura) e tempo de média para identificar eventos em longa distância vs. redes PON.
- 2.4 Identificadores de Fibra Viva (Live Fiber Identifiers): Técnica de identificação sem interrupção de tráfego.

Capítulo 3: Procedimentos de Instalação – Passo a Passo

- 3.1 Abertura de Cabo: Técnica de ring-cut para cabos de fita vs. tubo solto sem danificar fibras.
- 3.2 Organização em Bandejas: Raio de curvatura mínimo (30mm para G.652.D, 15mm para G.657.A2).
- 3.3 Emendas (Splicing): Tabela de perda aceitável (<0.05dB para mesma fabricante, <0.1dB para fabricantes diferentes).
- 3.4 Instalação Aérea (Postes): Altura mínima, mensageiro (ACSR), e protocolos de compartilhamento de poste com concessionárias de energia.
- **Volume II: Arquitetura Ativa e Fornecedores (Vendors)**
- **Capítulo 4: O Core (Backbone) – Transporte DWDM**
- 4.1 Arquitetura: ROADM (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer) de grau flexível (Flex-Grid).
- 4.2 Fornecedores:

- **Nokia (Alcatel-Lucent):** Família 1830 PSS (Photonic Service Switch). Configuração de supervisão (GCC/SCC) e amplificadores ópticos (EDFA/Raman).
- **Cisco:** Plataforma NCS 2000. Interoperabilidade com transponders de terceiros.
- **Huawei:** Plataforma OSN 9800. Procedimentos de segurança para evitar backdoors em redes críticas (padrão NATO/ABIN).
- 4.3 Transponders e Muxponders: 100G/400G/800G. Modulação (QPSK, 16QAM). FEC (Forward Error Correction) – como ganhar 2dB de budget ajustando o FEC.
- **Capítulo 5: Acesso (FTTH) – Arquitetura GPON/XGS-PON**
- 5.1 Padrões: G.984 (GPON) vs. G.9807 (XGS-PON). Split ratio (1:64 vs 1:128).
- 5.2 OLTs (Optical Line Terminal):
- **Huawei MA5800-X17/X15:** Configuração de DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) e VLAN mapping.

- **Nokia (Alcatel) 7360 ISAM FX:** Configuração de perfis de tráfego para residencial vs. empresarial.
- **ZTE C300/C600:** Procedimentos de desbloqueio de porta PON.
- 5.3 ONTs/ONUs: Provisionamento via OMCI. Padrões de RF overlay para TV (CATV).
- **Volume III: Operação, Configuração e Aceitação**
- **Capítulo 6: Configuração de Roteadores de Borda (Edge)**
- 6.1 **Juniper MX Series (MX204, MX10003):** Configuração de BGP para troca de tráfego com IXPs (PTT.br, FTS).
- 6.2 **Cisco ASR 9000 Series:** Configuração de IOS-XR, políticas de QoS para diferenciar tráfego de vídeo (Netflix/YouTube) de dados.
- 6.3 **MikroTik para Provedores Regionais:** CHR (Cloud Hosted Router) e CCR1072. Quebra de mitos: quando ele substitui um Cisco ou Nokia (e quando não substitui).

- **Capítulo 7: Testes de Aceitação (ATP – Acceptance Test Procedure)**
- 7.1 Teste de Continuidade e Perda (ILM): Método de 3 jumpers (A/B/C). Tolerâncias.
- 7.2 Reflectometria (OTDR): Análise de eventos – como interpretar um "gainer" (evento negativo) e quando ele indica fusão mal executada ou mismatch de modo de campo.
- 7.3 Teste de Chromatic Dispersion (CD) e Polarization Mode Dispersion (PMD): Obrigatório para enlaces acima de 100G.
- 7.4 Teste de Stress (Pulling): Certificação de que a fibra suportou a instalação sem microflexões.
- **Capítulo 8: Segurança e Boas Práticas para Operadoras**
- 8.1 Grounding e Aterramento: Esquemas de aterramento em cabos com fio de aço (SWA). Proteção contra raios em caixas de emenda.
- 8.2 Gerenciamento de Espaço em Dutos: Regra dos 40% (NBR 14565).

- 8.3 Documentação e GIS: Padrão de nomenclatura de fibras (F.O. XX-YY-ZZ). Integração com sistemas de inventário (Netcracker, OSS de operadoras).

AMOSTRA

Boa leitura!!!

Volume I: A Camada Física (Infraestrutura e Planta Externa)

Capítulo 1: Detalhamento de Componentes – A Lista de Materiais (BOM) de uma Operadora Tier-1

1.1 Fibras Ópticas: Fundamentos, Tipos, Especificações e Critérios de Seleção

1.1.1 O que é uma fibra óptica e por que ela revolucionou as telecomunicações

Para entender a escolha dos componentes, é necessário primeiro compreender o que é uma fibra óptica e por que ela se tornou o meio de transmissão predominante no mundo. Uma fibra óptica é um filamento de vidro de altíssima pureza, composto essencialmente de sílica, com diâmetro aproximado de 125 micrômetros. Para se ter uma ideia, um fio de cabelo humano tem entre 50 e 100 micrômetros de diâmetro. A fibra óptica é, portanto, mais fina que um fio de cabelo, mas tem capacidade de transportar informações a velocidades que ultrapassam 800 gigabits por segundo em um único canal, e dezenas de terabits por segundo quando múltiplos canais são combinados em sistemas DWDM.

A história da fibra óptica remonta à década de 1960, quando os pesquisadores Charles Kao e George Hockham, trabalhando nos laboratórios da Standard Telecommunication Laboratories na Inglaterra, demonstraram que a perda de sinal em fibras de vidro poderia ser reduzida a níveis praticáveis para telecomunicações. Antes de suas descobertas, as fibras de vidro existentes tinham perdas superiores a 1000 decibéis por

quilômetro, o que as tornava inúteis para qualquer aplicação prática além de alguns metros. Kao e Hockham propuseram que a perda era causada por impurezas no vidro, principalmente íons de ferro, cobre e hidroxila, e que a remoção dessas impurezas poderia reduzir a perda para cerca de 20 decibéis por quilômetro. Em 1970, a Corning Glass Works, nos Estados Unidos, produziu a primeira fibra óptica com perda inferior a 20 decibéis por quilômetro, inaugurando a era das comunicações ópticas. Charles Kao recebeu o Prêmio Nobel de Física em 2009 por suas contribuições fundamentais.

A fibra óptica moderna é composta por três camadas concêntricas, cada uma com uma função específica. O núcleo é a região central, por onde a luz efetivamente trafega. Ele tem diâmetro de 8 a 10 micrômetros para fibras monomodo, ou 50 a 62,5 micrômetros para fibras multimodo, e é feito de vidro de sílica dopada com germânio para aumentar seu índice de refração. A casca envolve o núcleo e tem diâmetro de 125 micrômetros. Ela é feita de sílica pura ou dopada com flúor para ter um índice de refração ligeiramente menor que o do núcleo. A diferença de índices de refração entre núcleo e casca é o que confina a luz no núcleo por reflexão total. Quando a luz tenta sair do núcleo para a casca, ela encontra uma barreira de índice de refração e é refletida de volta para o núcleo. Este princípio, conhecido como reflexão total interna, é o mesmo que faz com que um raio de luz se propague através de um jato de água de uma fonte luminosa. O revestimento primário é a camada externa, feita de acrílico ou poliéster, que protege o vidro contra umidade, abrasão e impactos mecânicos.

Ele tem diâmetro de 250 micrômetros e é removido apenas no momento da emenda ou conexão. A fibra nua, sem o revestimento primário, não pode ser tocada com as mãos porque a oleosidade da pele causa microtrincas que podem levar à fratura.

1.1.2 Por que existem diferentes tipos de fibra óptica

A evolução das redes de telecomunicações trouxe diferentes necessidades que um único tipo de fibra não poderia atender. As principais variáveis que diferenciam os tipos de fibra são a dispersão cromática, a dispersão por modo de polarização, a atenuação, e a sensibilidade a curvaturas. Cada aplicação — seja um backbone submarino de 10.000 quilômetros, uma rede metropolitana de 80 quilômetros, ou uma rede de acesso FTTH de poucos quilômetros — impõe requisitos diferentes.

A dispersão cromática é o fenômeno onde diferentes comprimentos de onda de luz viajam em velocidades ligeiramente diferentes na fibra. Isto ocorre porque o índice de refração do vidro varia com o comprimento de onda. Em sistemas de alta velocidade, como 100G e 400G, a dispersão cromática pode fazer com que os bits se espalhem no tempo e se sobreponham uns aos outros, causando erros. O parâmetro que mede a dispersão cromática é o coeficiente de dispersão, expresso em picosegundos por nanômetro por quilômetro. Quanto menor este coeficiente, maior a distância que o sinal pode percorrer sem necessidade de compensação.

A atenuação é a perda de potência do sinal à medida que a luz percorre a fibra. Ela é causada por absorção e espalhamento. A absorção ocorre quando a luz interage com impurezas no vidro,

como íons de hidroxila que causam um pico de absorção em 1380 nanômetros. O espalhamento Rayleigh é um fenômeno fundamental onde a luz é espalhada por flutuações na densidade do vidro, e é a principal fonte de atenuação em comprimentos de onda de interesse para telecomunicações. A atenuação diminui à medida que o comprimento de onda aumenta, até cerca de 1600 nanômetros, onde a absorção por vibrações moleculares da sílica começa a dominar.

A sensibilidade a curvaturas é a tendência da fibra de perder sinal quando curvada. Em fibras padrão, uma curvatura acentuada faz com que parte da luz que deveria ser confinada no núcleo escape para a casca e se perca. Fibras insensíveis à curvatura, como a G.657, foram desenvolvidas especificamente para aplicações onde o espaço é restrito, como dentro de residências e caixas de emenda apertadas.

1.1.3 Fibra G.652.D: a espinha dorsal das redes de backbone

A fibra G.652.D é, de longe, o tipo mais amplamente implantado no mundo para redes de backbone, metropolitanas, e para a maioria das aplicações de longa distância. Ela é definida pela recomendação ITU-T G.652, que estabelece as características de uma fibra monomodo de dispersão não-deslocada. A letra D no final indica a versão mais recente, que elimina o pico de absorção em 1380 nanômetros, permitindo a utilização de todo o espectro de 1260 a 1625 nanômetros.

As características técnicas da fibra G.652.D são rigorosamente especificadas pelos fabricantes e verificadas pelas operadoras

no momento da aquisição. O diâmetro do núcleo é de 8,2 a 9,5 micrômetros, com valor típico de 9,2 micrômetros. O diâmetro da casca é de 125 ± 1 micrômetro. O diâmetro do revestimento primário é de 245 ± 10 micrômetros. A atenuação máxima em 1310 nanômetros é de 0,35 decibéis por quilômetro, e em 1550 nanômetros é de 0,25 decibéis por quilômetro. O coeficiente de dispersão cromática em 1550 nanômetros é de aproximadamente 17 picosegundos por nanômetro por quilômetro. O comprimento de onda de dispersão zero, onde a dispersão cromática se anula, está em 1310 nanômetros.

O que torna a G.652.D tão versátil é a combinação de baixa atenuação em 1550 nanômetros, que é a janela de operação dos amplificadores EDFA, com dispersão cromática moderada que pode ser compensada eletronicamente em sistemas modernos. Além disso, a eliminação do pico de absorção em 1380 nanômetros permite a utilização de sistemas CWDM na banda S, entre 1460 e 1530 nanômetros, para aplicações de menor custo onde o DWDM é excessivo.

Os fornecedores aprovados pelas operadoras brasileiras para fibra G.652.D são a Corning, com seu produto SMF-28 Ultra; a Furukawa, com o produto LWP; e a Prysmian, com o produto E-SMF. Cada um destes produtos atende à recomendação G.652.D, mas há pequenas diferenças no diâmetro de campo modal que afetam a perda de emenda quando fibras de fornecedores diferentes são emendadas.

O diâmetro de campo modal, ou MCD, é uma medida do diâmetro efetivo do modo de luz que trafega pelo núcleo. Ele é ligeiramente maior que o núcleo físico, porque parte da luz se

propaga na casca. Para a G.652.D, o MCD típico em 1310 nanômetros é de 9,2 micrômetros, com tolerância de mais ou menos 0,4 micrômetro. Quando fibras de diferentes fornecedores são emendadas, se uma tem MCD de 8,8 micrômetros e a outra tem 9,6 micrômetros, a incompatibilidade causa perda por mismatch de até 0,3 decibéis. Por isso operadoras como a TIM padronizam um único fornecedor por projeto e mantêm estoques de cabos de reserva do mesmo lote de produção.

1.1.4 Fibra G.657.A2: a fibra insensível à curvatura para FTTH

A fibra G.657 foi desenvolvida especificamente para atender às necessidades das redes de acesso FTTH, onde as fibras são instaladas em espaços apertados dentro de residências, prumadas de edifícios, e caixas de emenda congestionadas. A recomendação ITU-T G.657 define fibras monomodo com sensibilidade reduzida a curvaturas, permitindo raios de curvatura muito menores que os da G.652.D.

A G.657 é dividida em duas categorias principais. A G.657.A1 permite raio de curvatura de 10 milímetros, e é essencialmente uma G.652.D com melhor desempenho em curvatura. A G.657.A2 permite raio de curvatura de 7,5 milímetros, e é a mais indicada para aplicações onde o espaço é extremamente restrito. Há também a G.657.B3, que permite raio de curvatura de 5 milímetros, utilizada em aplicações especiais como cabos de entrada residencial que precisam contornar quinas de paredes.

A fibra G.657.A2, comercializada como ClearCurve pela Corning e EliteBend pela Furukawa, mantém as mesmas características de atenuação da G.652.D, mas com uma tolerância muito maior a curvaturas. Enquanto a G.652.D começa a perder sinal de forma significativa quando curvada com raio inferior a 30 milímetros, a G.657.A2 mantém a perda abaixo de 0,1 decibel mesmo com raio de 15 milímetros, e pode ser curvada até 7,5 milímetros em situações temporárias sem dano permanente.

O mecanismo que permite esta insensibilidade a curvaturas é uma modificação no perfil de índice de refração. Na G.652.D, o índice de refração do núcleo é uniforme e a casca é uniforme, formando um degrau. Na G.657.A2, há um anel de baixo índice ao redor do núcleo que cria uma barreira adicional à fuga de luz quando a fibra é curvada. Este anel, chamado de trench ou vala, confina a luz mesmo em curvaturas acentuadas.

A aplicação da G.657.A2 nas redes das operadoras segue uma regra prática estabelecida pela Vivo: todo cabo aéreo, todo jumper interno, todo cordão que será manipulado com frequência, e toda fibra que será instalada dentro de edifícios deve utilizar fibra G.657.A2. Já os cabos enterrados e os cabos em dutos, que não sofrem curvaturas acentuadas durante a operação, podem utilizar G.652.D, que tem custo cerca de 30 por cento menor.

1.1.5 Especificações de decaimento e reflectância: o que a Anatel e as operadoras exigem

Decaimento, ou atenuação, é a perda de potência do sinal à medida que a luz percorre a fibra. Ele é expresso em decibéis por quilômetro, e é a especificação mais básica para qualquer projeto de rede. A Anatel não estabelece limites diretos para atenuação em redes privadas, mas as operadoras incorporam em seus projetos os valores definidos pelas normas ITU-T e pelos fabricantes.

Para fibra G.652.D, a atenuação máxima em 1310 nanômetros é de 0,35 decibéis por quilômetro, e em 1550 nanômetros é de 0,25 decibéis por quilômetro. Estes são os valores garantidos pelos fabricantes na entrega. Durante a vida útil da fibra, a atenuação pode aumentar devido a envelhecimento, exposição a hidrogênio, ou danos mecânicos. Por isso as operadoras exigem uma margem de segurança: nos projetos, utilizam valores de 0,30 decibéis por quilômetro em 1310 nanômetros e 0,22 decibéis por quilômetro em 1550 nanômetros para calcular o budget óptico, deixando uma reserva para envelhecimento.

A reflectância, ou perda de retorno óptica, é a quantidade de luz que é refletida de volta para a fonte em cada ponto de conexão ou emenda. Em sistemas de alta potência como redes PON e DWDM, a reflectância é crítica porque a luz refletida retorna para o laser e interfere em seu funcionamento, causando instabilidades que podem afetar toda a rede. A perda de retorno é expressa em decibéis, e quanto maior o valor, melhor.

Para conectores com polimento APC, a perda de retorno típica é superior a 50 decibéis. Para conectores com polimento UPC,

é superior a 40 decibéis. A Anatel não estabelece limites, mas as operadoras impõem seus próprios padrões em seus manuais de engenharia. A Claro, por exemplo, exige que todos os conectores em planta externa tenham perda de retorno superior a 50 decibéis, o que só é alcançado com polimento APC. Conectores internos, em equipamentos ativos, podem ter perda de retorno superior a 40 decibéis com polimento UPC.

1.1.6 Procedimento de recepção e inspeção de fibras: passo a passo

Quando um lote de cabos de fibra chega ao almoxarifado da operadora, um procedimento rigoroso de inspeção é executado antes que os cabos sejam aceitos e armazenados. Este procedimento varia entre operadoras, mas o padrão da TIM, documentado em seu manual de suprimentos, é um exemplo do que é praticado no setor.

O primeiro passo é a verificação documental. O engenheiro responsável pela recepção confere se a nota fiscal corresponde ao pedido de compra: quantidade de bobinas, tipo de fibra, número de fibras por cabo, e comprimento de cada bobina. Em seguida, verifica se cada bobina está acompanhada do laudo de fábrica, que é um documento que contém os resultados dos testes realizados pelo fabricante.

O laudo de fábrica deve conter, no mínimo: o número do lote de fabricação; o tipo de fibra segundo ITU-T; a atenuação medida em 1310, 1383, 1550 e 1625 nanômetros; o comprimento de onda de corte; o diâmetro de campo modal; o coeficiente de dispersão cromática; o coeficiente de dispersão por modo de polarização; e o resultado do teste de tensão. O

teste de tensão, ou proof test, é um processo de fábrica onde a fibra é submetida a uma tração de 100 kpsi, cerca de 700 megapascais, para garantir que não há trincas latentes. Se o laudo de fábrica estiver ausente ou incompleto, a bobina deve ser rejeitada imediatamente.

O segundo passo é a inspeção visual das bobinas. O engenheiro examina cada bobina em busca de danos no transporte. A capa externa do cabo não pode ter amassados, cortes, ou deformações que indiquem impacto. As extremidades do cabo devem estar seladas com capuzes térmicos ou fitas de proteção. Se a capa estiver danificada ou as extremidades não estiverem seladas, a bobina deve ser devolvida porque a umidade pode ter penetrado e comprometido as fibras internas. A umidade causa dois problemas: primeiro, a água pode congelar em climas frios, expandindo e danificando a fibra; segundo, a água reage com o revestimento primário, liberando hidrogênio que aumenta a atenuação em 1383 e 1550 nanômetros.

O terceiro passo é a amostragem para teste de continuidade. O engenheiro seleciona uma bobina a cada lote para teste de continuidade com OTDR. O teste consiste em emendar um pigtail em uma das extremidades do cabo e realizar uma varredura OTDR do início ao fim. A atenuação medida deve estar dentro dos valores especificados no laudo de fábrica, com tolerância de 10 por cento. Se a atenuação estiver acima do especificado, todo o lote pode ser rejeitado ou submetido a testes adicionais.

O quarto passo é o armazenamento. As bobinas aprovadas são armazenadas em local seco, coberto, e com temperatura controlada entre 10 e 40 graus Celsius. As bobinas são colocadas em estrados de madeira para evitar contato com o piso, e são protegidas da luz solar direta, que pode degradar o revestimento primário. Cada bobina recebe uma etiqueta de identificação com o número do pedido de compra, o número do lote, a quantidade de fibras, e o comprimento.

1.2 Cabos Ópticos: Tipos, Construção, Fornecedores e Critérios de Seleção

1.2.1 A evolução dos cabos ópticos e por que existem diferentes construções

O cabo óptico é a estrutura que transforma a fibra frágil em um produto robusto capaz de ser instalado em dutos, enterrado no solo, ou suspenso em postes. A evolução dos cabos ópticos acompanhou a evolução das redes: das primeiras redes de longa distância com cabos de tubo solto e gel, até as redes de alta densidade com cabos de fita, e as redes de acesso com cabos de fita seca e microdutos.

A função do cabo é proteger as fibras contra três tipos de agressão: mecânica, ambiental e química. A agressão mecânica inclui tração durante a instalação, compressão por outros cabos ou por veículos em dutos subterrâneos, e impacto. A agressão ambiental inclui umidade, variações de temperatura, e radiação ultravioleta. A agressão química inclui contato com solventes, óleos, e produtos químicos presentes no solo.

Cada tipo de construção de cabo é otimizado para um conjunto específico de agressões e para um método de instalação. O cabo de tubo solto com gel é o mais versátil e o mais utilizado em backbone enterrado, porque o gel protege as fibras contra umidade e permite que elas se movam livremente dentro do tubo quando o cabo é tracionado. O cabo de fita é utilizado em alta densidade porque maximiza a quantidade de fibras em um dado diâmetro de cabo. O cabo de fita seca elimina o gel para reduzir o tempo de preparação em campo. O cabo ADSS é utilizado em instalações aéreas porque é totalmente dielétrico, evitando riscos elétricos.

1.2.2 Cabo de tubo solto com gel: construção detalhada, aplicações e procedimentos

O cabo de tubo solto com gel é a construção mais antiga e ainda a mais utilizada para backbone enterrado e dutos urbanos. Sua construção é uma obra de engenharia que combina múltiplas camadas de proteção para garantir a integridade das fibras por décadas.

No centro do cabo está o elemento central de resistência, ou CSM. Este elemento é uma haste de aço ou fibra de vidro que suporta a tração durante a instalação. Em cabos que não podem conter metais, como os ADSS, o elemento central é de fibra de vidro ou aramida. O diâmetro do elemento central varia conforme a capacidade do cabo, tipicamente entre 2 e 5 milímetros.

Ao redor do elemento central, são helicoidalmente trançados os tubos soltos. Cada tubo é um tubo de plástico, geralmente PBT ou polibutileno tereftalato, com diâmetro interno de 1,5 a 2,5

milímetros. Dentro de cada tubo, são inseridas de 12 a 36 fibras, dependendo do projeto. As fibras estão soltas dentro do tubo, sem fixação, e o espaço vazio é preenchido com um gel thixotrópico. Este gel tem propriedades reológicas especiais: em repouso, se comporta como um sólido, mantendo as fibras imóveis; quando submetido a esforços mecânicos, como a tração durante a instalação, se liquefaz, permitindo que as fibras se movam e evitando que a força seja transferida para elas.

O número de tubos varia conforme a capacidade do cabo. Um cabo de 144 fibras pode ter 6 tubos de 24 fibras cada, ou 12 tubos de 12 fibras cada. Os tubos são identificados por cores, seguindo um padrão internacional: azul, laranja, verde, marrom, cinza, branco, vermelho, preto, amarelo, violeta, rosa, e azul claro. A sequência de cores é repetida conforme necessário.

Sobre os tubos trançados, são aplicadas camadas de fita de poliéster ou polipropileno que mantêm a estrutura unida e fornecem proteção adicional. Em seguida, se o cabo for armado, é aplicada uma armadura de fita de aço corrugada. A armadura é uma fita de aço com espessura de 0,15 a 0,25 milímetros, enrolada em espiral ao redor do núcleo. A armadura protege contra roedores, que podem roer a capa externa de plástico, e contra impactos. Em cabos que serão instalados em dutos compartilhados com cabos de energia, a armadura também serve como aterramento.

A capa externa é de polietileno de alta densidade, ou HDPE, com espessura de 1,5 a 3 milímetros. O HDPE é resistente à

abrasão, à radiação ultravioleta, e à maioria dos produtos químicos presentes no solo. A cor da capa externa varia conforme a aplicação: preto para cabos enterrados ou em dutos; amarelo para cabos aéreos ADSS; verde para cabos de acesso FTTH.

O procedimento de abertura de um cabo de tubo solto com gel é uma operação que exige precisão e paciência. O técnico

AMOSTRA