

Aula 06 - Meios Físicos de Comunicação I

Roteiro da Aula :

Nesta aula apresentaremos os meios físicos delimitados usados em sistemas de comunicação de dados. Como já havíamos visto em aulas anteriores, os meios físicos delimitados são representados pelos cabos, que “delimitam” (por isto o nome) as informações dentro das suas fronteiras físicas¹.

Vamos analisar dois tipos de cabo de comunicação : os cabos elétricos e os cabos óticos. Como o próprio nome já diz, os primeiros são utilizados para transmissão de sinais elétricos, enquanto que os últimos são utilizados para transmissão de luz. Através da codificação destes sinais elétricos ou da luz, consegue-se transmitir a informação desejada.

1. Cabos elétricos

Os cabos elétricos utilizados para comunicação de dados são de dois tipos : os cabos de par trançado e os cabos coaxiais.

1.1. Cabo de par trançado :

Construído através do agrupamento de um ou mais pares de fios elétricos trançados (veja a figura), o cabo de par trançado é o meio físico delimitado de menor custo entre todos que analisaremos nesta aula, principalmente em função da sua simplicidade.

¹ Na verdade, às vezes as informações são recuperáveis do lado de fora do meio físico, ou seja, fora de suas fronteiras físicas. No entanto, para fins didáticos, podemos considerar esta definição como verdadeira.

Como podemos observar, cada par é constituído por dois fios elétricos trançados. Este conjunto possui características eletromecânicas que afetam o comportamento do cabo durante a transmissão de dados. Entre as principais estão : comprimento do cabo, passo (número de voltas por metro), espessura do condutor (também conhecida como bitola), número de pares por cabo, além do material utilizado para os fios.

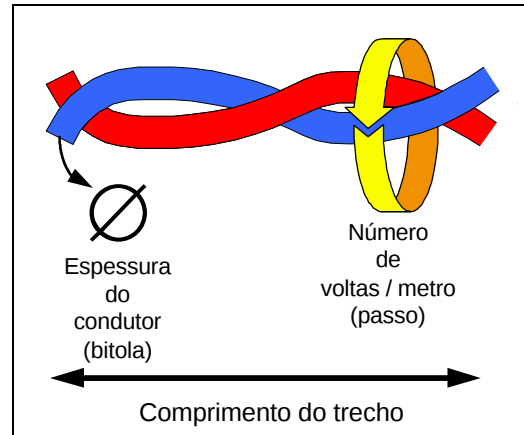


Figura 1 - Construção de um cabo de par trançado

Transmitir sinais elétricos através de um par de fios é uma solução que já vem sendo adotada a muito tempo. Utilizado desde os tempos do telégrafo, este meio físico possui um parque instalado de milhares e milhares de quilômetros.

No entanto, encaminhar os fios de forma paralela (sem o trançado) trazia problemas quando encaminhávamos mais de um par de fios no mesmo cabo. A interferência gerada por um par nos outros (também chamada de diafonia, ou *cross-talk*), acabava invalidando a aplicação. Para resolver este problema, decidiu-se trançar os pares de fios antes de agrupá-los. Com um

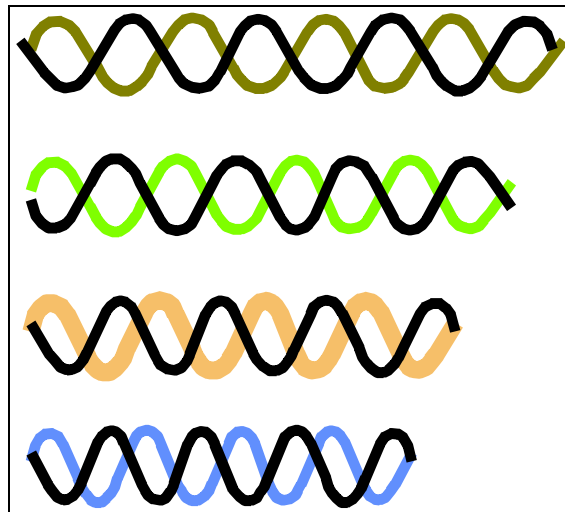


Figura 2 - Cabo de 4 pares com diferentes passos e seus diferentes comprimentos.

trançado diferente para cada um dos pares, reduzimos bastante a diafonia, garantindo a aplicação deste meio físico.

Obviamente, tal medida implica em diferentes comprimentos de fio para cada um dos pares do cabo. Esta diferença pode ser considerada e até eventualmente compensada pelos equipamentos terminais, desde que se garanta uma norma rigorosa para identificação de cada

par. As normas de cabeamento estabelecem claramente quais os pares que devem ser interligados a cada um dos conectores existentes nos equipamentos terminais.

A construção em espiral formada pelo trançado do próprio cabo traz outros benefícios, como por exemplo uma imunidade a ruídos maior do que a oferecida pelos cabos do tipo *flat* (sem trançado). Isto ocorre porque o campo magnético gerado pela circulação da corrente funciona como uma proteção contra ruídos. Nos cabos do tipo STP (*Shield Twisted Pair*), esta proteção é reforçada por uma blindagem externa constituída de um cilindro feito de material condutor. No entanto, a maior parte das normas e fabricantes recomendam o uso do cabo UTP (*Unshield Twisted Pair*), sem esta blindagem. É sobre este tipo de cabo que falaremos no decorrer desta apostila.

1.1.1. Classificação em categorias :

Utilizado tanto para transmissão analógica como digital, um cabo de par trançado de alta qualidade admite sinais com frequências de sinalização de até 200 MHz. Aliando-se frequências de sinalização elevadas como esta às técnicas avançadas de modulação (que serão estudadas em apostilas posteriores), torna-se possível utilizar cabos de par trançado para aplicações extremamente críticas, como transmissão de sinais de vídeo, por exemplo.

Tipicamente, os cabos são classificados em categorias, atualmente variando entre categoria 3 e 5. Alguns fabricantes, no entanto, implementam programas independentes de certificação, conhecidos como programas de “nível”.

Categoria	Aplicação Típica	Frequência Sinalização	Situação das Normas
3	- Voz - Dados sobre baixa taxa de transferência	16 MHz	EIA/TIA 568
4	<i>Token-Ring</i>	20 MHz	EIA/TIA 568
5	Redes Locais Atuais	100 MHz	EIA/TIA 568
5 (nível 6)	ATM 622 MBps	155 MHz	Em processo
5 (nível 7)	Aplicações futuras	200 MHz	Futuro

Tabela 1 - Categorias para cabos de par trançado

Como podemos ver na tabela, o uso de categorias/níveis superiores garante aplicações mais avançadas. Como a norma que define a categoria 5 já está completando 10 anos de vida, deveremos ter em breve a regularização das normas para os níveis mais altos. No momento estuda-se a criação da “categoria 6”, que teria características técnicas análogas ao “nível 7”.

O avanço nas características dos cabos não deve no entanto ser motivo para a troca de sistemas já instalados. Como as aplicações existentes na maior parte dos casos ainda não se utilizam de todas estas características, manter sistemas baseados em categoria 5 ou até mesmo em categoria 3 é a atitude mais sensata. No entanto, instalações novas ou mesmo ampliações de instalações já existentes devem sempre se utilizar dos cabos mais modernos, como forma de ampliar o tempo de vida útil da instalação.

Uma curiosidade típica é : “Como se determina que um cabo atende ao nível 7?”. Para responder esta pergunta, é interessante conhecer melhor as características técnicas de um cabo de par trançado.

1.1.2. A atenuação :

Toda vez que estamos analisando a transmissão de dados por um meio qualquer, temos que considerar, além das interferências externas, a presença do ruído. Este estará sempre presente, e com intensidade constante em todo o comprimento do cabo.

Desta forma, para viabilizar o uso de um meio físico, é bom injetar um sinal suficientemente potente, de forma a garantir uma relação sinal/ruído² sempre elevada. Bastaria então construir transmissores potentes e poderíamos ficar despreocupados ? Infelizmente não.

Em um cabo, a potência do sinal injetado do lado do transmissor é reduzida gradativamente até a chegada do sinal no receptor conectado ao outro extremo do cabo. Esta redução de potência é chamada de “atenuação” e é medida em dBs (decibéis). Sendo assim, uma relação sinal/ruído aceitável na extremidade próxima ao transmissor pode se tornar crítica na extremidade oposta.

Garantir um valor baixo de atenuação por metro é uma preocupação do fabricante de cabos, minimizando os problemas causados pelo ruído. Um problema adicional é a frequência de sinalização – é fácil descobrir que a atenuação é uma função da frequência, tendendo a crescer significativamente para frequências de sinalização mais elevadas.

Sendo assim, se conhecêssemos a potência típica do ruído e do sinal injetado por um transmissor, estabeleceríamos um comprimento típico (normalmente 100 m), e então especificaríamos qual a máxima atenuação permitida para um determinado tipo de cabo. Agregando a isto a relação entre a atenuação e a frequência do sinal, poderíamos montar um tabela de valores de atenuação aceitáveis para diversas frequências de sinalização. Foi exatamente este o trabalho realizado pelas equipes que elaboraram as normas (veremos um exemplo de tabela mais tarde, no item 1.1.5 da página 8).

O atendimento às tabelas de certificação acabou se transformando no conceito de categoria. Desta forma, cada categoria determina os valores máximos de atenuação para diferentes frequências. Estendendo os valores obtidos nestas condições para frequências de sinalização ainda mais altas, chegamos aos chamados “níveis” de performance defendidos por alguns fabricantes. Por exemplo : um cabo “nível 7” oferece os mesmos valores de atenuação que um cabo de categoria 5, só que para frequência de sinalização duas vezes superior.

1.1.3. O *cross-talk* e o NEXT :

Como já havíamos visto, o *cross-talk* é uma ameaça à operação de um ambiente com cabos de par trançado. Para aumentar a segurança, garantindo índices de qualidade superiores, os comitês de normas estabeleceram uma nova forma de medir o *cross-talk* : o NEXT.

A mudança é a seguinte : injeta-se o sinal nas duas extremidades do cabo, em pares diferentes (tal como em uma transmissão *half-duplex*). Depois disto, mede-se o valor do *cross-talk* nas duas extremidades, sempre entre os pares do emissor e receptor. Como a comparação será feita entre um sinal forte (recém

² A relação sinal/ruído indica a diferença entre a potência já esperada para o ruído e a potência típica do sinal. Quanto maior for este número, melhor o meio físico analisado (detalharemos melhor este assunto em apostilas posteriores).

injetado) contra um sinal fraco (já atenuado em toda a extensão do cabo), os efeitos do *cross-talk* serão sentidos com ainda mais força.

Em um cabo de quatro pares, por exemplo, são medidos 12 valores de NEXT (seis em cada extremidade). O pior valor é eleito como representativo de cabo (como o NEXT é medido em dBs, o pior valor será o mais baixo).

Sobre este assunto, reside hoje uma pequena controvérsia. O que se discute é o método de avaliação do NEXT. Da forma apresentada, estamos considerando a existência de sinais em apenas dois dos quatro pares típicos de cabo de par trançado. No entanto, será que obteríamos os mesmos valores de NEXT se estivéssemos utilizando todos os quatro pares ?

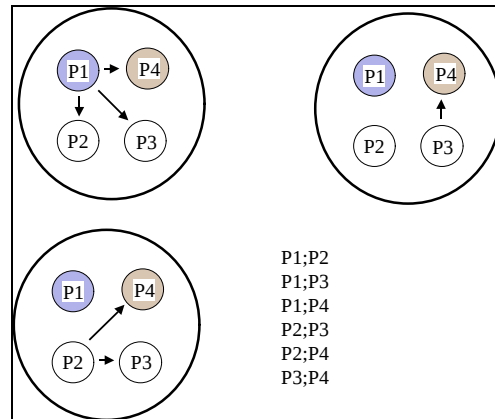


Figura 3 - Medição do NEXT em um cabo típico.

Para entender isto, basta observar a figura ao lado. Ela representa as possíveis medições de NEXT em uma extremidade de um cabo de quatro pares. Observem que só faz sentido realizar seis medições, e que em todas elas, considera-se a injeção de interferência por apenas um par. Ora, se resolvermos injetar sinal em todos os pares, isto não será verdade !

Na verdade, toda esta discussão é inútil se não soubermos qual a técnica de medição recomendada pelo comitê de normas para testes de cabos, independente desta ser ou não a mais adequada. Se formos verificar isto, vamos ver que a medição do NEXT em combinações de dois pares (tal como disposto na Figura 3) é a técnica recomendada para cabos de quatro pares. Apenas cabos com maior número de pares é que são avaliados por técnicas diferenciadas.

Embora possa parecer estranho, esta decisão do comitê é facilmente justificável. Em primeiro lugar, temos que lembrar que as normas atuais já estão desatualizadas devido à sua idade. Em segundo lugar, graças a isto, basta lembrar que, na época da elaboração das normas, os padrões de redes locais existentes só se utilizavam de dois pares para transmissão de dados. Na verdade, até hoje é muito difícil encontrar ambientes de rede baseados em tecnologias que realmente utilizem os quatro pares, como o ATM 622 MBps, o 100VG-AnyLAN e o 100BaseT4.

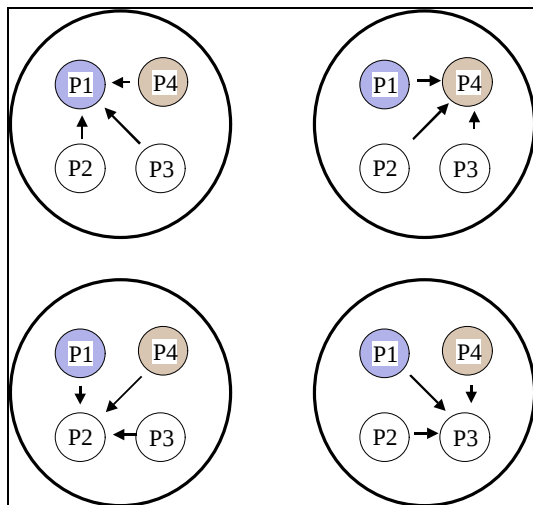


Figura 4 - Medição do NEXT utilizando a técnica *Power Sum* em um cabo de quatro pares.

No entanto, embora sejam raros, estes ambientes existem. Sendo assim, alguns fabricantes determinaram a utilização de técnicas mais rigorosas para medição dos valores de NEXT em seus cabos. Conhecida como *Power Sum*, esta técnica pode ser entendida na figura ao lado. Verifique que considera-se a injeção de sinal simultaneamente em três pares, enquanto mede-se o valor da interferência no quarto par.

Desta forma, obviamente os valores de NEXT obtidos serão menores, tornando a medição mais rigorosa quanto à qualidade do cabo. Das oito medições (quatro em cada extremidade), considera-se o pior valor como o representativo do cabo. Atualmente, o comitê recomenda esta técnica apenas para cabos com mais de quatro pares.

1.1.4. ACR :

A atenuação e o NEXT são normalmente agregados em um gráfico que representa a chamada ACR (*Attenuation to Cross-talk Ratio*, ou, em português, relação diafonia/atenuação). O mesmo gráfico determina valores decrescentes em função da ACR em função da frequência.

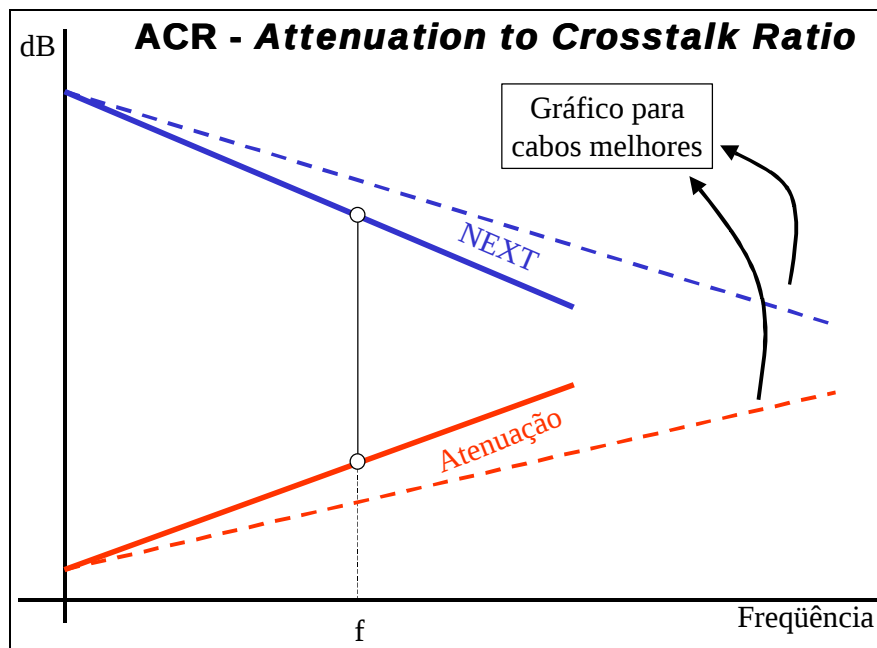


Figura 5 - Gráfico típico do ACR para determinado cabo

Analisando-se o gráfico obtido, vemos que há uma tendência de interseção das linhas da atenuação e do NEXT. Obviamente o cabo torna-se inútil neste ponto, já que a potência do sinal será igual à potência da interferência. Sendo assim, considera-se valores mínimos de ACR em determinadas frequências como parâmetros de qualidade para cabos de par trançado. Pela simplificação da análise em apenas um número, a ACR vem se tornando cada vez mais útil como parâmetro de qualidade para sistemas baseados no cabeamento em par trançado.

No mesmo gráfico, podemos ver a tendência para melhores cabos, com valores de ACR mais altos para as mesmas frequências.

1.1.5. Valores admitidos pela norma EIA/TIA 568 para a Categoria 5
(lance de cabo de 100 m) :

Frequência(MHz)	Atenuação (dB) (Valores Máximos a 20°C)	Atenuação de Diafonia (dB) NEXT (Valores Mínimos do pior par)
0,772	1,8	64
1	2,0	62
4	4,1	53
8	5,8	48
10	6,5	47
16	8,2	44
20	9,3	42
25	10,4	41
31,25	11,7	40
62,5	17,0	36
100	22,0	32

a **Tabela 2** - Valores admissíveis para atenuação e NEXT em um cabo de categoria 5

Os números na tabela demonstram claramente o comportamento da atenuação e NEXT tal como vimos no gráfico da ACR.

1.1.6. Contagem de pares em um cabo de par trançado :

É comum no mercado a confusão entre número de pares e categoria. Diz-se que um cabo de categoria 5 é aquele que possui quatro pares, enquanto que o cabo de categoria 3 é aquele que possui apenas dois pares.

Como já vimos, o conceito de categoria não tem nenhuma relação com o número de pares. No entanto, é muito comum encontrar-se no mercado cabos de categoria 3 com apenas dois pares e cabos de categoria 5 com quatro pares.

E qual é o cabo que devemos utilizar ? Na verdade, se quisermos obedecer às normas, recomenda-se a instalação de cabos de quatro pares. Isto no entanto não significa que os velhos cabos de dois pares tenham que ser substituídos imediatamente ! A maior parte dos padrões de rede local existentes atualmente (entre eles o *Ethernet*, que é extremamente comum) utiliza-se apenas de dois pares para transmissão de dados. Sendo assim, redes baseadas em cabos com apenas dois pares ainda podem ser utilizadas sem problemas.

1.1.7. Outras limitações para cabos de par trançado :

Além dos limites gerados pelas características até agora analisadas, o cabo de par trançado sofre, assim como qualquer outro, das limitações quanto à distância máxima. Características como a qualidade dos condutores empregados, obediência aos padrões que estabelecem a distância máxima, número de voltas por metro (passo) e até variações da bitola dos fios podem interferir fortemente na classificação do cabo conforme descrito anteriormente.

Desta forma, em aplicações onde as distâncias envolvidas são muito grandes, costuma-se empregar taxas de sinalização bem inferiores. É o caso por exemplo das redes públicas de telefonia, que tipicamente admitem taxas de sinalização de 2.400 Hz. Apenas algumas aplicações especiais admitem taxas superiores, mas sempre com limitações na distância entre o terminal e a central telefônica mais próxima.

1.1.8. Normas de conectorização :

Atualmente, o cabo de par trançado mais comum é o cabo com quatro pares. Em função disto, vamos conhecer melhor as técnicas de terminação (ou conectorização) deste tipo de cabo. Existem três diferentes normas de terminação : T568A, T568B e USOC. Elas estabelecem diferentes combinações de cores/pinos. Destas, a mais comum é a T568B. A USOC não é utilizada por reduzir implicar em índices de diafonia muito elevados. Na prática, portanto, se utilizam as normas T568A e T568B.

Ambas as normas determinam alguns pontos básicos :

- Os pares de fios tem seus componentes identificados como TIP e RING, onde o TIP é sempre branco e o RING é uma cor sólida.
- Os pares são numerados de 1 a 4 e possuem cores padronizadas em todo o mundo, conforme a tabela abaixo :

Número do Par	Cor do TIP	Cor do RING
1	Branco	Azul
2	Branco	Laranja
3	Branco	Verde
4	Branco	Marron

Tabela 3 - Padrão de cores para cabos de quatro pares

- O par 1 é sempre montado no centro do conector modular (pinos 4 e 5), para garantir compatibilidade com as normas de telefonia. Isto permite, por exemplo, que um conector modular macho de quatro pinos (“RJ-11”) seja conectado a uma conector modular fêmea (“RJ-45”) sem problemas de operação.
- O par 4 é montado nos dois últimos pinos do conector (7 e 8) em ambas as normas.
- A diferença entre as duas normas fica por conta da montagem dos pares 2 e 3. Veja a seguir um desenho representando a disposição das cores nas duas normas.

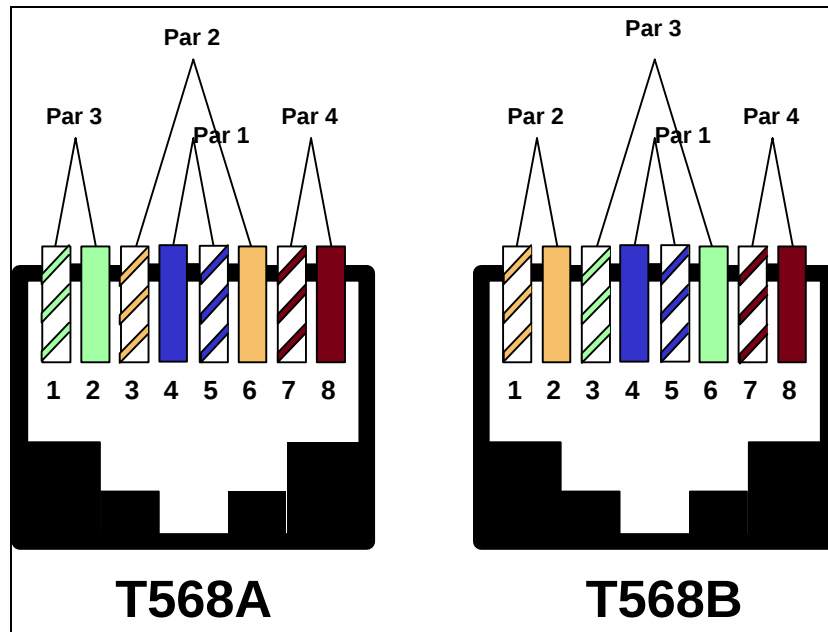


Figura 6 - Sequência de pares nas normas T568A e T568B

Para melhor entendimento, representamos os condutores de TIP com listras de cores correspondentes ao RING do par. Esta é a mesma estratégia adotada por alguns fabricantes para evitar confusões entre TIPs de diferentes pares.

Agora que conhecemos melhor o cabo de par trançado não blindado (UTP – *Unshielded Twisted Pair*), fica mais fácil entender os motivos do seu sucesso, que basicamente são a simplicidade de construção e uma efetiva proteção contra interferências.

O uso de cabos de par trançado blindados (STP – *Shielded Twisted Pair*), apesar de aparentemente oferecer uma maior proteção contra ruídos, na prática implica em problemas para o controle das tensões de aterramento (que neste caso deve forçosamente ser igual em todos os pontos interligados), além de uma maior complexidade de instalação e montagem, devido à necessidade de conexão da malha de proteção aos equipamentos ativos.

1.2. Cabo Coaxial :

Normalmente utilizado para transmissão de sinais sonoros ou de vídeo, o cabo coaxial se tornou também um meio físico muito utilizado para transmissão de dados. Na verdade, durante alguns anos, o cabo coaxial reinou absoluto como o meio físico mais utilizado para redes locais de computadores.

Com suas características construtivas, o cabo coaxial oferece uma grande imunidade a ruídos externos. Esta imunidade, conseguida graças à sua malha externa de proteção, pode ter diferentes graus, mas sempre é superior ao cabo de par trançado UTP. Isto garante uma gama muito grande de aplicações, principalmente em locais sujeitos a ruídos.

Na verdade, existem diversos tipos de cabo coaxial, utilizados em variadas aplicações. Entre os diferentes tipos, temos variações de impedância característica, variações nos materiais utilizados e

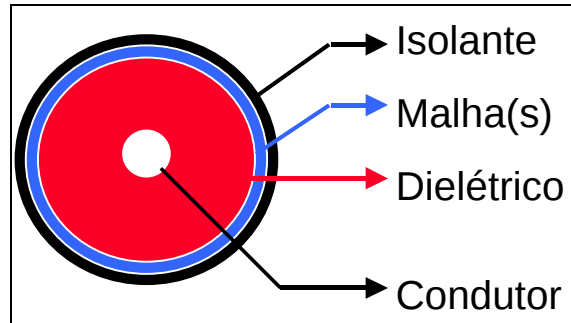


Figura 7 - Estrutura construtiva de um cabo coaxial
variações construtivas, sendo que a mais importante diz respeito ao número de malhas de proteção existentes. Alguns cabos chegam a possuir 3 blindagens independentes e sobrepostas.

1.2.1. Configuração do Cabeamento :

Um sistema de cabeamento coaxial deve se comportar, para cada terminal, como um cabo infinito de impedância³ conhecida. Por este motivo, é adotada uma configuração especial para o cabeamento, com o uso de componentes que garantem o atendimento a estas exigências.

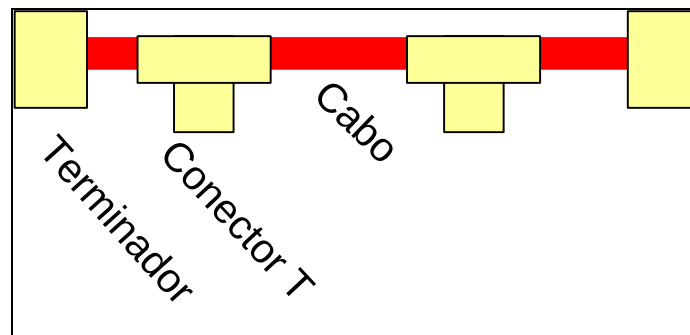


Figura 8 - Configuração típica para cabeamento coaxial

Na figura vemos um exemplo de configuração para cabeamento coaxial. Observe a presença de elementos específicos, como o terminador e o conector T. Estes elementos são inseridos para garantir que a impedância seja constante em todo o cabo e que seja possível enxergar o cabo como infinito a partir de uma estação.

³ Qualquer cabo possui entre as suas características a impedância, que representa a resistência que este cabo oferece a passagem de um sinal alternado de uma determinada frequência. Os valores de impedância são expressos em ohms (Ω), que é a mesma unidade adotada para a resistência elétrica, estudada na física do segundo grau. A grande diferença está no tipo de sinal, que agora é alternado e com frequência variável, o que faz com que a impedância não tenha um valor fixo, e sim valores variáveis com a frequência. No caso específico do cabeamento coaxial, é adotada uma frequência conhecida de sinalização para medição da impedância dos cabos utilizados, por isto o valor é fixo.

Sendo assim, o terminador nada mais é do que uma resistência elétrica de valor idêntico à impedância do cabo. Este deve ser colocado nos dois extremos do cabo para garantir a visão do cabo infinito.

Da mesma forma, o conector T é a única forma de garantir a conexão de diversos terminais ao mesmo sistema de cabeamento sem afetar muito a impedância do ambiente.

Concluindo, em termos de quantitativos, para cada “N” estações ligadas a um sistema de cabeamento coaxial, serão necessários dois terminadores, “N” conectores T e “N-1” cabos pré-montados.

Os cabos pré-montados são construídos com segmentos nunca menores do que 1,5 metros devidamente terminados com conectores de construção também coaxial e mesma impedância do cabo (veja no próximo item).

Adicionalmente, algumas instalações adotam caixas de conectorização intermediária junto aos computadores. Desta forma, permite-se isolar o cabeamento externo dos cabos de interligação das estações, tornando o ambiente mais seguro e de fácil manutenção. Além disto, fica mais fácil ampliar o número

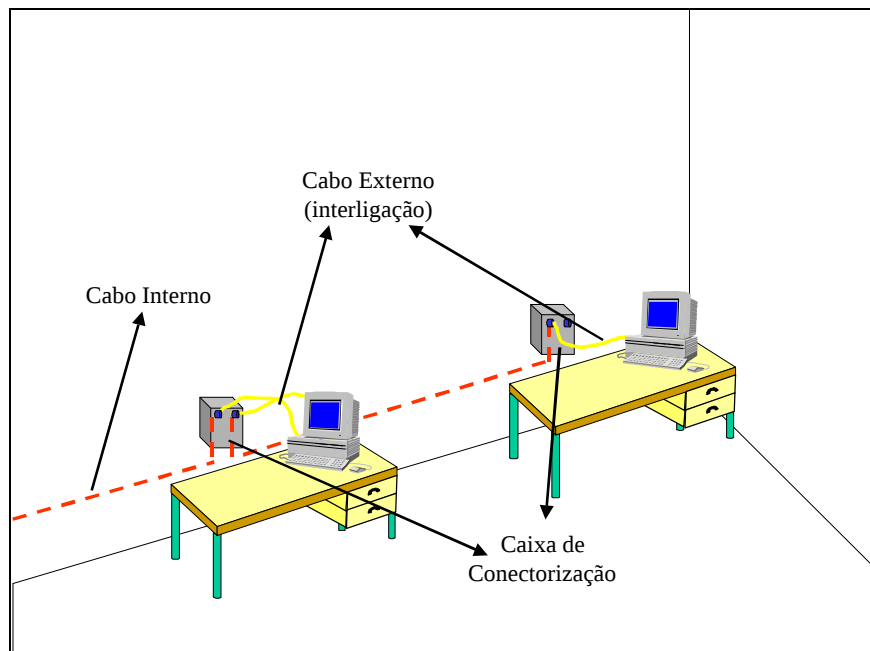


Figura 9 - Instalação coaxial típica com caixas de conectorização.

de pontos a partir de uma estação.

Na figura anterior, vemos que a instalação com caixas de conectorização separa o cabo interno, que pode ser encaminhado por tubulações embutidas ou aparentes. Em cada área de trabalho, é instalada uma caixa de conectorização que permite interligar os computadores ali instalados através de cabos externos de interligação. Nas caixas intermediárias, são utilizados um mínimo de dois cabos (no caso de apenas um computador), enquanto que nas duas caixas da extremidade (representada no desenho pela estação no canto da sala) basta um mínimo de um cabo, além é claro do terminador e conector “T”.

O uso de caixas de conectorização adiciona dois conectores fêmea ao modelo apresentado anteriormente (veja Figura 8, na página 11 desta apostila) para cada

caixa de conectorização intermediária, além de um conector fêmea para cada uma das caixas terminais.

1.2.2. Normas de Conectorização :

A conectorização deve seguir as características construtivas do cabo, ou seja, deve ser coaxial. Tipicamente se utilizam dois padrões diferentes, o BNC e o N. Cada um deles é adequado para um tipo diferente de cabo. O cabo mais comum utiliza conectores BNC (cabo *cheapernet*), enquanto que os cabos grossos, para longas distâncias, utilizam conectores “N”.

A fixação destes conectores em alguns casos pode ser relativamente complexa. Existem conectores fixados por solda e outros por crimpagem. O segundo tipo exige ferramentas especiais para montagem dos conectores por pressão e é mais interessante, já que o aquecimento dos cabos e conectores acaba por antecipar a danificação da superfície de contato dos mesmos. Dentre os dois tipos de crimpagem (circular ou hexagonal), a crimpagem circular é mais adequada, por aumentar a superfície de contato, e por consequência, a resistência física do cabo montado.

1.2.3. Nomenclatura :

Na tabela abaixo apresentamos a nomenclatura utilizada para alguns dos cabos coaxiais existentes no mercado :

RG-58	50 ohms – Cabo fino, conhecido como <i>cheapernet</i>
RG-08	50 ohms - Yellow Cable. Usado para cabos tronco (<i>backbone</i>)
RG-213	50 ohms
RG-59	75 ohms
RG-11	75 ohms
RG-62	93 ohms

Tabela 4 - Nomenclatura típica em cabos coaxiais para redes de computadores

Nas primeiras instalações de redes locais *Ethernet*, era utilizado o cabo coaxial grosso, conhecido como *yellow cable*. Este cabo tipicamente possuía mais de uma malha de proteção e era bastante caro. Com extensão máxima de 500 metros, o mesmo era interligado às estações através de um dispositivo especial, conhecido como transceptor VAMP. Para instalá-lo, era necessário perfurar o cabo (daí o nome VAMP) em pontos específicos que vinham marcados em intervalos regulares durante toda a extensão do cabo. Do transceptor até a estação do usuário era utilizado um cabo elétrico, com extensão máxima de 50 metros, conhecido como cabo AUI (*Attachment Unit Interface*).

Este tipo de instalação entrou em desuso imediatamente após o lançamento de um novo padrão para cabos coaxiais, o *cheapernet*. Este padrão foi lançado pela 3Com junto com a primeira placa de comunicação *Ethernet* para microcomputadores IBM-PC. Seu grande sucesso, além de ser o principal responsável pelo crescimento da 3Com, acabou por invalidar o uso do *yellow cable*. Algumas empresas no entanto continuaram utilizando este tipo de cabo em algumas instalações, razão pela qual ainda hoje pode-se encontrar ambientes baseados no *yellow cable*, embora estes sejam cada dia mais raros. As únicas

justificativas plausíveis para o uso deste tipo de cabo eram o alcance e proteção contra ruídos. No entanto, com o advento dos cabos de fibra ótica, ambos os argumentos se tornaram inválidos, já que a substituição do *yellow cable* traz outras vantagens além do aumento do alcance e imunidade a ruídos.

Os três últimos tipos de cabo da tabela não são utilizados para redes *Ethernet*. Já o cabo RG-213 é utilizado em algumas instalações em substituição ao *yellow cable*, já que possui custo mais reduzido, embora também seu alcance seja menor (300 m).

1.2.4. Outras limitações para os cabos coaxiais :

As características citadas geram cuidados especiais quanto à manutenção da impedância característica. Além disto, o cabo coaxial tem uma instalação tipicamente mais complexa. Portanto, as implicações de custo associadas ao cabeamento coaxial acabam por limitar sua aplicação a redes com pequena quantidade de pontos.

A presença da malha como um elemento condutor em uma rede coaxial pode provocar a circulação de correntes elétricas entre pontos com diferentes potenciais de terra, principalmente se existirem falhas de instalação. É por isto que desobedecer as normas (típico nas redes inicialmente pequenas) em um cabeamento coaxial, pode, além de prejudicar a estabilidade do funcionamento, danificar equipamentos de comunicação.

2. Cabos de Fibra Ótica :

Ao contrário dos cabos estudados até agora, o cabo de fibra ótica não é construído para a condução de sinais elétricos, e sim de sinais luminosos. A ausência de sinais elétricos já é garantia de imunidade a interferências eletromagnéticas, o que já é uma grande vantagem. No entanto, a tecnologia envolvida na instalação de uma rede de computadores baseada em cabeamento ótico aumenta significativamente os custos, o que normalmente é a grande desvantagem desta solução.

2.1. Princípio de funcionamento :

Para entender o funcionamento de um cabo de fibra ótica, é importante conhecer as propriedades da reflexão e da refração da luz. Na figura abaixo,

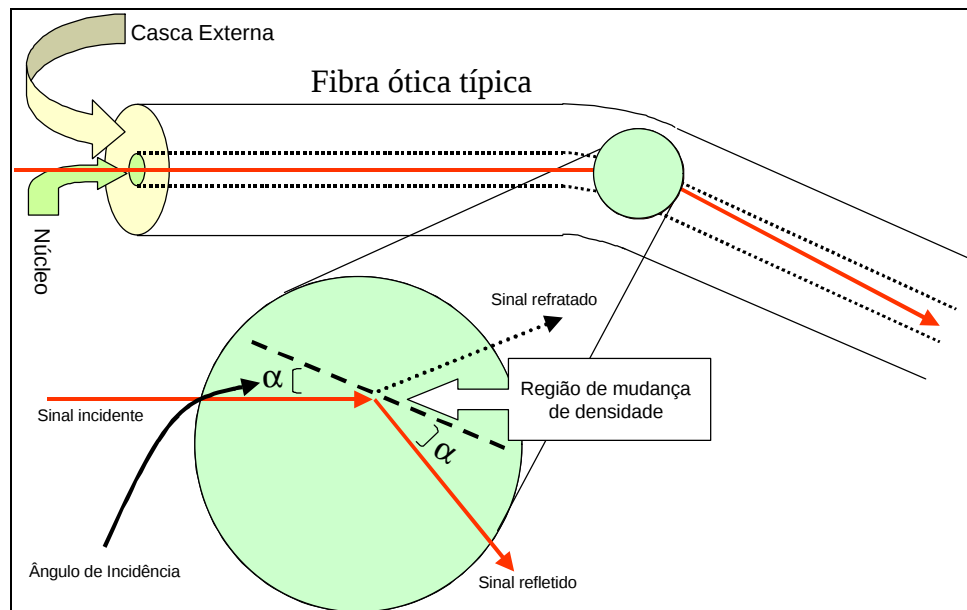


Figura 10 - Princípio de funcionamento de uma fibra ótica

temos a representação de uma fibra ótica típica. Observe a identificação do núcleo (em verde) e da casca externa na extremidade da fibra. Esta é a região da conectorização. Uma fibra ótica é construída de forma a garantir diferentes densidades no núcleo e na casca externa. É esta diferença de densidade que garante a propagação do sinal luminoso por toda a extensão do cabo.

Considerando um sinal de luz que tenha sido injetado no centro do núcleo e numa direção paralela ao mesmo, a luz tenderá a se propagar em linha reta até a próxima curva do cabo. Neste ponto, fatalmente o sinal luminoso atingirá a região de mudança de densidade (observe detalhe em verde na Figura 10).

Ao atingir a região de mudança de densidade, parte do sinal luminoso será refletida e parte será refratada. A soma das potências dos dois sinais corresponderá exatamente à potência do sinal incidente. No entanto, o que nos interessa é apenas o sinal refletido, já que o sinal refratado provavelmente será dissipado sobre a forma de calor, representando uma perda indesejável da potência de sinal.

Para maximizar a potência do sinal refletido e reduzir a zero a potência do sinal refratado, basta garantir o princípio da reflexão total. Tal princípio é verdadeiro quando o ângulo de incidência é muito pequeno (α na figura). Por este motivo, as fibras óticas são fabricadas em diâmetros muito reduzidos⁴. Além disto, devem ser tomados cuidados especiais na conectorização dos extremos das fibras e na instalação dos dutos para passagem dos cabos, que devem possuir raios de curvatura elevados, atendendo às especificações do fabricante do cabo.

2.2. Classificação quanto ao modo de transmissão :

Existem no mercado dois tipos bem diferentes de fibra ótica : as fibras multimodo e as fibras monomodo.

2.2.1. Multimodo :

Muito comum em aplicações de comunicação de dados, a fibra multimodo normalmente hospeda diversos feixes luminosos, cada qual sofrendo múltiplas reflexões na região que separa o núcleo da casca. Este tipo de transmissão dá o nome ao cabo de fibra ótica, que é chamado de multimodo.

Para que isto ocorra, os cabos multimodo possuem núcleos com espessura maior (tipicamente na faixa entre 50 e 75 μ) e uma região extremamente delgada para variação de densidade.

As múltiplas reflexões acabam por aumentar a distância percorrida pelo sinal luminoso, o que provoca dois efeitos : o aumento do índice de atenuação do sinal e uma pequena defasagem entre os diferentes feixes. Estes dois efeitos provocam redução do alcance máximo, que tipicamente está em torno de 2 km.

2.2.2. Monomodo :

Comum em aplicações específicas para telecomunicações, a fibra monomodo provoca o desvio gradual do feixe luminoso na fronteira entre núcleo e casca, graças à característica de mudança de densidade em gradiente. Esta característica, aliada ao pequeno diâmetro do núcleo (tipicamente na faixa entre 8 e 10 μ), faz com que a luz se propague pelo núcleo como em um guia de onda, acompanhando a curvatura do cabo. Este tipo de transmissão também dá o nome ao cabo (transmissão monomodo).

Graças às suas características, o alcance obtido com fibras monomodo é maior do que nas fibras multimodo, chegando a dezenas de quilômetros (embora não seja muito comum, a fibra monomodo pode atingir distâncias de até 60 km). Estas grandes distâncias podem ser alcançadas também devido ao uso de emissores de luz de alta potência, comuns neste tipo de aplicação.

⁴ Tipicamente, em redes locais, são utilizadas cabos de fibra ótica com fibras de espessura igual a 125 μ para a casca e 62,5 μ para o núcleo.

2.3. Riscos à saúde :

Os cabos de fibra ótica exigem alguns cuidados especiais durante a sua instalação e operação. Sem estes cuidados, a manipulação incorreta pode provocar lesões muitas vezes irreversíveis à saúde.

2.3.1. Exposição dos olhos (operação) :

O tipo de sinal luminoso injetado em uma fibra ótica é normalmente infravermelho, portanto invisível (veja item 2.5 na página 19). No entanto, este sinal pode possuir componentes visíveis (normalmente na faixa do vermelho, de frequência mais baixa) de baixa potência.

Assim, a curiosidade ingênua de olhar o sinal luminoso saindo de um conector pode provocar danos irreversíveis à visão. Tal como nos *icebergs*, a parte mais perigosa do sinal luminoso não é visível. Este risco é ainda maior no caso das fibras monomodo, que normalmente abrigam transmissões de alta potência.

2.3.2. Fragmentos de fibra (instalação) :

Durante o trabalho com fibras óticas, tipicamente na conectorização das mesmas, é comum a sobra de pedaços milimétricos e quase invisíveis⁵ de fibra ótica. Como a fibra ótica é constituída de vidro, estes pedaços podem provocar perfuração ou corte da pele, muitas vezes com o alojamento de pequenos pedaços de vidro nos locais atingidos. Além disto, o simples ato de coçar os olhos pode provocar lesões nos olhos, o que é ainda mais perigoso.

Por este motivo, recomenda-se extrema cautela ao lidar com estes pedaços de fibra ótica. Uma técnica muito comum consiste em fixar uma fita adesiva dupla face no local de trabalho. Esta fita é utilizada para fixar os pequenos pedaços de fibra. Ao final do serviço, a fita é dobrada e jogada no lixo.

2.3.3. Materiais da infra-estrutura do cabo (instalação) :

Muitos dos materiais utilizados na fabricação de um moderno cabo de fibra ótica são perigosos para a saúde. Produtos repelentes à água podem ser tóxicos; fibras de alta resistência podem ser cortantes. Além disto, as ferramentas para preparação dos cabos normalmente são cortantes.

Por estes motivos, garantir o treinamento adequado dos responsáveis pela instalação é essencial para maior segurança.

2.3.4. Aterramento dos elementos condutores (operação) :

Graças às suas características de imunidade à ruídos eletromagnéticos, muitas vezes os cabos de fibra ótica são encaminhados junto a fontes muito potentes de sinais eletromagnéticos.

Se o cabo possuir elementos metálicos, como tracionadores ou armaduras, normalmente ocorre a indução de correntes nestes componentes, o que pode

⁵ Uma das características mais importantes do vidro utilizado nas fibras óticas é o seu alto grau de transparência.

provocar choques elétricos nas extremidades da fibra ótica. Por este motivo, recomenda-se o aterramento cuidadoso de todos os componentes metálicos dos cabos de fibra ótica, sobretudo para cabos externos.

2.4. Detalhes construtivos :

A total imunidade a ruídos característica dos cabos de fibra ótica normalmente privilegia a instalação deste tipo de cabo em ambientes externos e normalmente agressivos.

Desta forma, para garantir a integridade da instalação durante muitos anos, os fabricantes constroem estruturas extremamente resistentes e robustas, permitindo a instalação dos cabos em locais extremamente hostis. Por este motivo, é comum encontrar cabos que podem ser diretamente enterrados, cabos que podem ser encaminhados de forma aérea nos postes de iluminação pública, cabos resistentes a roedores e até cabos que impedem a contaminação pela água.

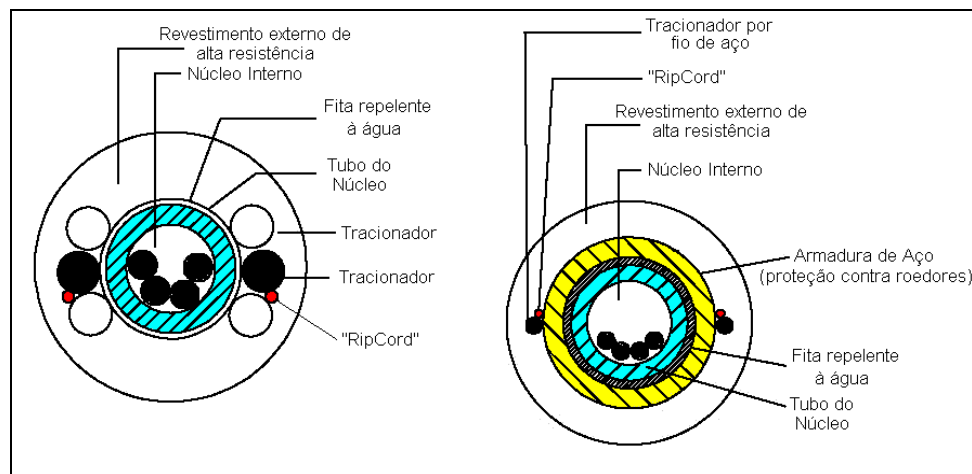


Figura 11 - Estruturas típicas de fibras óticas externas

Na Figura 11, podemos observar duas estruturas típicas para cabos de fibra ótica externos, representadas por cortes perpendiculares em dois diferentes cabos externos. Observe no cabo à direita a presença de elementos metálicos (armadura em amarelo e tracionadores por fio de aço). Além disto, ambas possuem fita repelente à água e revestimento externo de alta resistência. Um elemento curioso é o *Rip Cord* (em vermelho), que facilita a preparação do cabo, permitindo eliminar a capa externa sem o uso de ferramentas cortantes.

A grande diferença entre os dois exemplos é a ausência de elementos metálicos no cabo da esquerda.

Em termos de aplicação, cada uma das características tem sua razão de ser. A armadura metálica protege o cabo contra o ataque de roedores. Isto torna o cabo ideal para encaminhamento subterrâneo em locais sujeitos ao ataque de roedores. Independente da existência desta estrutura, é muito importante

garantir procedimentos de manutenção preventiva nas tubulações, com aplicação de produtos raticidas nas caixas de passagem.

Os tracionadores aumentam muito a resistência do cabo a esforços de tração, facilitando a instalação e reduzindo os riscos de danificação do cabo. Os fabricantes costumam especificar seus produtos em função da força de tração que pode ser aplicada sem rompimento da fibra interna. Esta característica é particularmente interessante nas instalações onde os vãos de tubulação sem caixas intermediárias são muito extensos (independente desta característica, é interessante garantir a presença de caixas intermediárias em distâncias regulares, além de manter a ocupação dos dutos em no máximo 40%). Além dos tracionadores metálicos, muitas vezes se utilizam materiais sintéticos de alta resistência, como fibras de polímeros ou mesmo o *kevlar*, que garante alta resistência de tração aliada a flexibilidade (por isto mesmo particularmente útil nos cabos para encaminhamento interno).

Outra preocupação é a possível contaminação da fibra por agentes externos, como por exemplo a água. Para reduzir este risco, os cabos de fibra ótica são normalmente construídos com proteções especiais que garantem a imunidade contra agentes externos. No caso específico da água, é comum encontrarmos cabos de fibra ótica com substâncias hidrófobas. Também conhecidos como cabos geleitados, estes cabos têm vida útil bastante prolongada, mesmo nos casos em que o mesmo opera submerso. Da mesma forma, tal proteção não invalida a manutenção preventiva das tubulações, que devem, sempre que possível, estar livre de inundações. No entanto, o uso destas proteções se limita a cabos externos, já que os produtos hidrófobos normalmente são inflamáveis, invalidando o seu uso interno.

Para finalizar, o uso de revestimentos especiais de alta resistência garante maior segurança de instalação. Muitas vezes, ao ser encaminhado por uma tubulação, o cabo sobre arranhões em sua superfície provocados por rebarbas nos dutos e caixas de passagem. O uso de materiais de alta resistência evita a danificação do cabo, embora muitas vezes dificulte o trabalho de preparação das extremidades do cabo.

2.5. Classificação dos sinais luminosos :

As fibras óticas, como já vimos, são usadas para transmitir sinais luminosos. Para determinar as características dos sinais luminosos que serão escolhidos para transmissão, foram analisados os comportamentos de sinais luminosos em uma faixa de frequências relativamente larga.

Após a análise de características como a atenuação por unidade de comprimento, procurou-se escolher faixas que apresentassem os menores valores nominais de atenuação, além de uma certa estabilidade em função da frequência (derivada da atenuação em função da frequência). Tais faixas situam-se dentro do espectro do infravermelho, tipicamente com

comprimentos de onda⁶ variando entre 0,8 e 1,6 μm (na literatura, 800 a 1.600 nm).

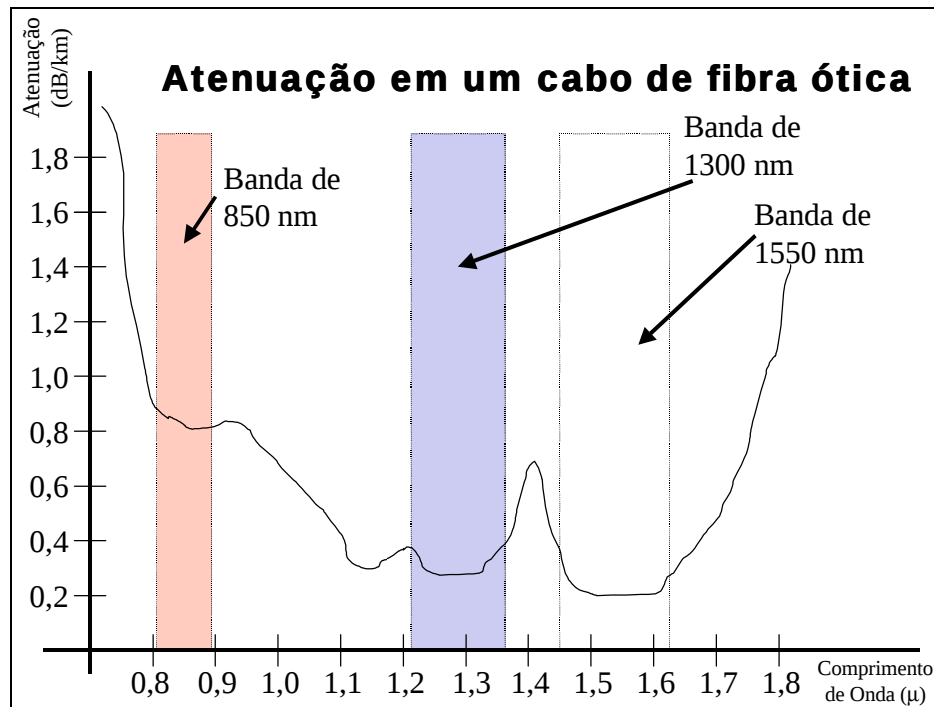


Figura 12 - Bandas de frequência utilizáveis para transmissão de sinais óticos

Como podemos ver na figura, são três as faixas de frequência utilizáveis. Na prática, os equipamentos compatíveis com o padrão 10BaseFL (fibra ótica no padrão *ethernet*) normalmente utilizam sinais na faixa de 850 nm. Já os equipamentos compatíveis com padrões de alta velocidade como o ATM ou o *fast ethernet* normalmente trabalham com sinais na faixa de 1.300 nm.

Outro ponto importante é a atenuação máxima exigida pelas aplicações. Graças ao menor índice de atenuação obtido nas frequências mais baixas, costuma-se exigir índices de atenuação menores (tipicamente 11 dB) para as aplicações de alta velocidade. Já as aplicações convencionais normalmente convivem com índices de atenuação mais altos (tipicamente 30 dB). Isto torna mais complexa a instalação de fibras óticas para redes de alta velocidade. É recomendável portanto que os testes de certificação das instalações sejam realizados nas duas faixas de comprimento de onda. É também por este motivo que é muito comum encontrar instalações certificadas para redes *ethernet* que não se adequam às exigências dos ambientes mais modernos.

⁶ Como já vimos em outras apostilas, o comprimento de onda representa o espaço percorrido por um sinal durante o tempo decorrido para um ciclo completo do mesmo. Por este motivo, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência.

2.6. Conectorização :

A única desvantagem da fibra ótica é o seu custo de instalação. Apesar do preço do cabo estar se reduzindo cada vez mais, a conectorização da mesma é complexa e exige técnicas e equipamentos especiais, além de mão-de-obra devidamente treinada. Tudo isto é causado pelo alto grau de precisão necessário na conectorização e nas emendas/fusões. Portanto, conhecer as diferentes técnicas de conectorização é muito importante.

Após a preparação dos dois extremos do cabo de fibra ótica, são montados conectores especiais nas pontas de cada fibra do cabo, de forma a permitir o acoplamento ótico destas fibras aos equipamentos terminais. Nesta operação é necessário alta grau de precisão, por alguns motivos. Em primeiro lugar está a fragilidade da fibra ótica, principalmente devido às suas dimensões. Em segundo lugar está a necessidade de garantir a injeção do sinal luminoso exatamente no ponto central do núcleo da fibra ótica, e de forma perfeitamente perpendicular. Para tanto, além de utilizar conectores de precisão, o processo exige um polimento cuidadoso da superfície de contato da fibra ótica.

Os conectores utilizados são classificados em diversos modelos. Os mais conhecidos são : SMA, ST e SC.

2.6.1. Conector SMA :

É o modelo mais antigo. Utilizado tipicamente em redes 10BaseFL, o conector SMA foi muito utilizado no comprimento de onda de 850 nm. Mecanicamente, ele é fixado por rosca em espiral. O esforço durante a fixação e retirada do conector acabava por danificar a fibra, que não é muito resistente a esforços rotacionais. Este é principal motivo do uso cada vez menos freqüente deste tipo de conector.

2.6.2. Conector ST :

É o conector mais comum hoje em dia. Tipicamente utilizado no comprimento de onda de 850 nm, sua conexão mecânica é do tipo baioneta, reduzindo o esforço rotacional, que embora exista, é muito menor.

2.6.3. Conector SC :

É o conector mais moderno. Tipicamente utilizado no comprimento de onda de 1.300 nm, o conector SC tem fixação mecânica por pressão, sem esforço rotacional.

2.7. Técnicas de Emenda e Fusão :

Devido à sua sensibilidade e características, considera-se como ideal a instalação onde não é necessária a emenda ou fusão de fibras óticas. No

entanto, problemas causados por acidentes podem provocar a necessidade da emenda ou fusão. Vamos então conhecer as técnicas utilizadas para emenda e fusão.

Ambas as técnicas tem o objetivo de acoplar duas diferentes fibras óticas tanto mecanicamente quanto em suas características óticas. Na figura,

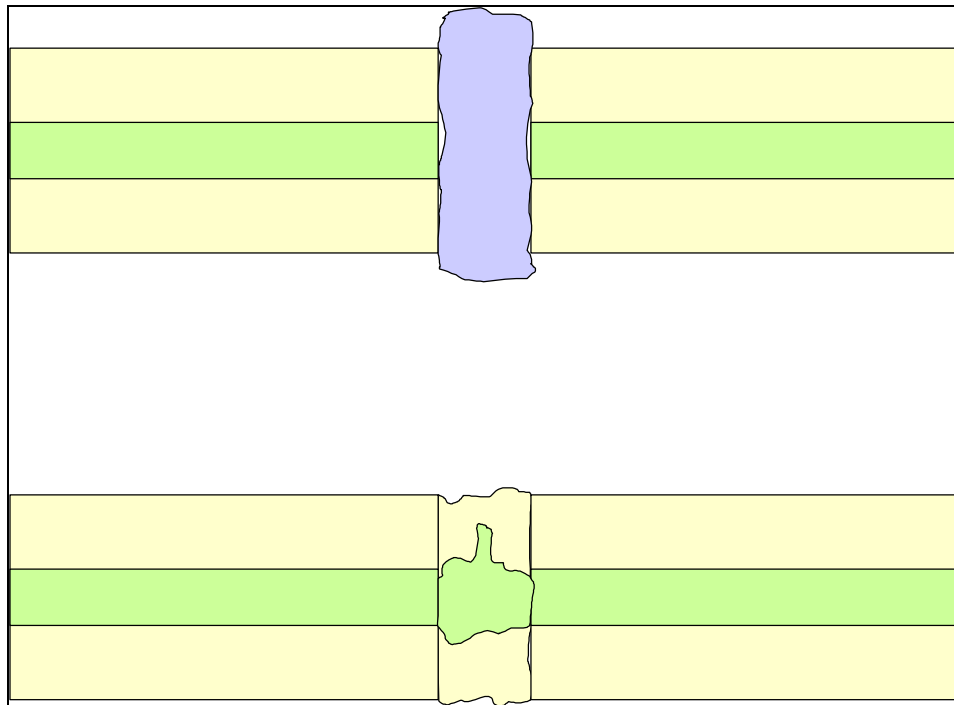


Figura 13- Emenda e fusão entre dois segmentos de fibra ótica

vemos uma representação do efeito causado pela emenda ou fusão na fibra ótica. Como podemos ver, no caso da emenda, as fibras são cortadas de forma perpendicular e afixadas de forma bastante próxima. Entre as duas superfícies, é utilizado um material especial (representado pela cor azul no desenho) que facilita o acoplamento ótico.

No caso da fusão, os dois extremos são submetidos a uma técnica especial que provoca a fusão entre as duas fibras, unindo-as definitivamente. Na região da fusão, obviamente as características do núcleo e casca não são preservadas, como podemos ver na figura.

Resumindo, em ambas as estratégias teremos perdas acentuadas, tanto por atenuação, quanto por reflexão de parte do sinal no ponto da emenda. Por este motivo, não consideramos recomendável o uso de nenhuma das duas técnicas, caso seja possível eliminá-las.

Exercícios :

1) Sobre cabeamento em par trançado, identifique as alternativas corretas :

- () A identificação correta de cada um dos quatro pares do cabo de par trançado segundo as normas de conectorização é essencial devido aos doze diferentes valores possíveis de atenuação.
- () Graças aos diferentes comprimentos de cada um dos pares do cabo de par trançado, torna-se necessário conectar as malhas de aterramento do cabo UTP em ambas as extremidades.
- () Escolher um cabo de par trançado com categoria mais alta significa permitir o trânsito de sinais com taxas de sinalização mais elevadas.
- () A diafonia é evitada através da implementação de diferentes “passos” em cada um dos pares do cabo.
- () A medição do NEXT é uma técnica mais crítica de medição para a diafonia.
- () Cabos melhores têm valores de NEXT e atenuação mais altos para a mesma frequência.
- () A medição do NEXT através do método *Power Sum* implica em valores mais altos do que através do método convencional (par a par).
- () Cabos piores tem valores menores de ACR para a mesma frequência.
- () Cabos de categoria 5 devem possuir no mínimo quatro pares, embora sejam admissíveis cabos com maior número de pares.

2) Sobre as normas de conectorização para cabos de par trançado, responda :

- a) Em cada um dos pares, o cabo branco (ou com listras de cor sólida) é chamado de _____. O outro cabo é chamado de _____.
- b) O primeiro par em um cabo de par trançado é da cor _____.
- c) O primeiro par em um cabo de par trançado é conectorizado nos pinos ____ e ____ do conector RJ-45.
- d) O último par em um cabo de par trançado é conectorizado nos pinos ____ e ____ do conector RJ-45.
- e) Na norma T568-A, o segundo par (laranja) é conectorizado nos pinos ____ e ____ do conector RJ-45.

3) Em uma empresa que possui oito computadores ligados em rede coaxial, identifique a quantidade de cada um dos componentes abaixo :

- a) Conectores “T” : _____
- b) Cabos pré-montados : _____
- c) Terminadores : _____

4) Sobre cabos de fibra ótica, responda :

a) Qual dos princípios a seguir garante o funcionamento de uma fibra ótica ?
() refração perimetral; () reflexão parcial; () reflexão total; () N.R.A.

b) Em qual dos modelos de fibra ótica a seguir existe uma zona de mudança de densidade em gradiente ? () duplomodo; () monomodo; () multimodo; () N.R.A.

c) Qual dos modelos de fibra ótica a seguir é capaz de atingir as maiores distâncias ?
() duplomodo; () monomodo; () multimodo; () N.R.A.

5) Explique, com suas próprias palavras, porque a emissão de luz vermelha de baixa intensidade por um conector de fibra ótica pode provocar a cegueira :

6) Informe a função de cada um dos componentes da infra-estrutura de um cabo de fibra ótica listados abaixo :

a) Tracionadores : _____

b) *Rip-cord* : _____

c) Armadura metálica : _____

7) Para cada uma das afirmações abaixo, identifique o tipo de cabo usando as letras P (par trançado), C (coaxial) e F (fibra ótica) :

- ☐ Alto custo de conectorização.
- ☐ Alta imunidade a ruídos, conectorização relativamente complexa.
- ☐ Baixo custo e baixa imunidade a ruídos.
- ☐ Total imunidade a ruídos elétricos.
- ☐ Deve-se garantir distância razoável de fontes de interferência elétrica durante o encaminhamento.
- ☐ Deve-se garantir curvas bem abertas, para evitar perdas de sinal.
- ☐ Conectores devem seguir características construtivas do cabo.

8) Considerando exclusivamente suas características físicas, selecione o tipo de cabo que deverá ser utilizado para cada um dos ambientes descritos abaixo, apresentando justificativas :

☐ Indústria Petroquímica, área industrial, distância longa e alta densidade de equipamentos elétricos. Justificativa :

☐ Oficina Mecânica, pequena distância, relativa densidade de equipamentos elétricos e tubulação antiga. Justificativa :

☐ Escritório de Advocacia, pequenas distâncias, poucos equipamentos elétricos. Justificativa :

☐ Duto subterrâneo alagado em época de chuvas, longa distância, nenhum equipamento elétrico próximo. Justificativa :

