

Meios Físicos de Transmissão

1. Introdução

Os meios físicos de transmissão podem ser classificados em meios guiados (com cabos) e não guiados (sem fio).

Os meios guiados podem ser classificados em meios magnéticos (cabos metálicos) e ópticos (fibra óptica). Com relação aos meios guiados magnéticos, abordaremos o par trançado, o cabo coaxial e linhas de energia elétrica.

2. Pares trançados

Um dos meios de transmissão mais antigos e ainda mais comuns é o par trançado. Um par trançado consiste em dois fios de cobre encapados, que em geral tem cerca de 1 mm de espessura. Os fios são enrolados de forma helicoidal, assim como uma molécula de DNA. O trançado dos fios é feito porque dois fios paralelos formam uma antena simples. Quando os fios são trançados, as ondas de diferentes partes dos fios se cancelam, o que significa menor interferência.

Isso ocorre porque a intensidade da interferência eletromagnética depende da distância do fio condutor à origem da interferência. Como o par é trançado, em um ponto o primeiro fio do par está mais próximo, mas no alguns centímetros adiante o outro fio do par está mais próximo. Um sinal normalmente é transportado a partir da diferença das tensões terminais (diferença de potencial – ddp) entre os dois fios no par. Isso oferece melhor imunidade ao ruído externo, pois o ruído tende a afetar os dois fios da mesma forma, mantendo a ddp inalterada.

A aplicação mais comum do par trançado é o sistema telefônico. Quase todos os telefones estão conectados à estação central da companhia telefônica por um par trançado. Tanto as chamadas telefônicas quanto o acesso à Internet por ADSL utilizam essas linhas. Os pares trançados podem se estender por diversos quilômetros sem amplificação, mas, quando se trata de distâncias mais longas, o sinal é atenuado e existe a necessidade de repetidores. Quando muitos pares trançados percorrem paralelamente uma distância muito grande, como acontece na ligação entre um prédio e a estação central da companhia telefônica, eles são envolvidos por uma capa protetora. Se não estivessem trançados, esses pares provocariam muitas interferências. Em locais onde as linhas telefônicas são instaladas em postes, é comum vermos cabos de pares trançados com vários centímetros de diâmetro.

Os pares trançados podem ser usados na transmissão de sinais analógicos ou digitais. A largura de banda depende da espessura do fio e da distância percorrida, mas, em muitos casos, é possível alcançar diversos megabits/s por alguns quilômetros. Em virtude do custo e do desempenho obtidos, os pares trançados ainda são usados em larga escala, mas vem

gradualmente perdendo espaço para as fibras ópticas.

O cabeamento de par trançado pode ser de vários tipos. A variedade mais comum empregada em muitos prédios de escritórios é chamada cabeamento de Categoria 5 (ou ‘Cat 5’), ou sua variante Cat 5e. Um par trançado de categoria 5 consiste em dois fios isolados e levemente trançados. Quatro pares desse tipo normalmente são agrupados em uma capa plástica para proteger os fios e mantê-los juntos, conforme a figura 1.

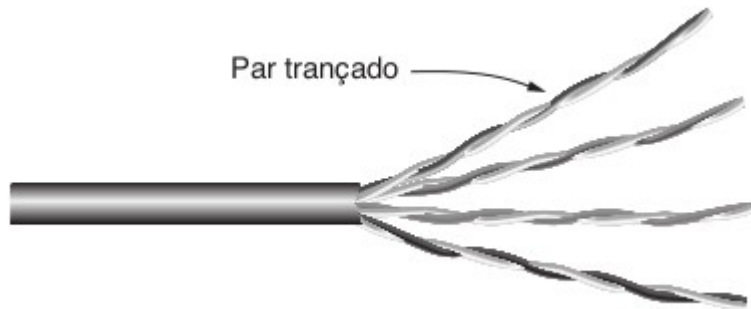


Figura 1. Cabo UTP Categoria 5, com 4 pares trançados (fonte: Tanenbaum, 2013)

Diferentes padrões de LAN podem usar os pares trançados de formas diferentes. Por exemplo, a Ethernet de 100 Mbps usa dois (dos quatro) pares, um para cada direção. Para alcançar velocidades mais altas, a Ethernet de 1 Gbps usa todos os quatro pares nas duas direções simultaneamente.

Os cabos Cat 5 substituíram os cabos Categoria 3 mais antigos com um cabo semelhante que usa o mesmo conector, mas com mais voltas por metro. Mais voltas resultam em menos interferências e em um sinal de melhor qualidade por distâncias maiores, tornando os cabos mais adequados para a comunicação de computador de alta velocidade, especialmente LANs Ethernet de 100 Mbps. A especificação Cat 5e é uma variação criada posteriormente sobre a Cat 5, alterando um pouco a forma de trançamento para suportar uma frequência maior, e com isso permitir o uso em redes de até 1Gbps. Para velocidades maiores são necessários cabos de Categoria 6 ou até Categoria 7. O cabo Cat 6 inclui um separador plástico em forma de x, isolando os pares, como mostrado na figura 2.

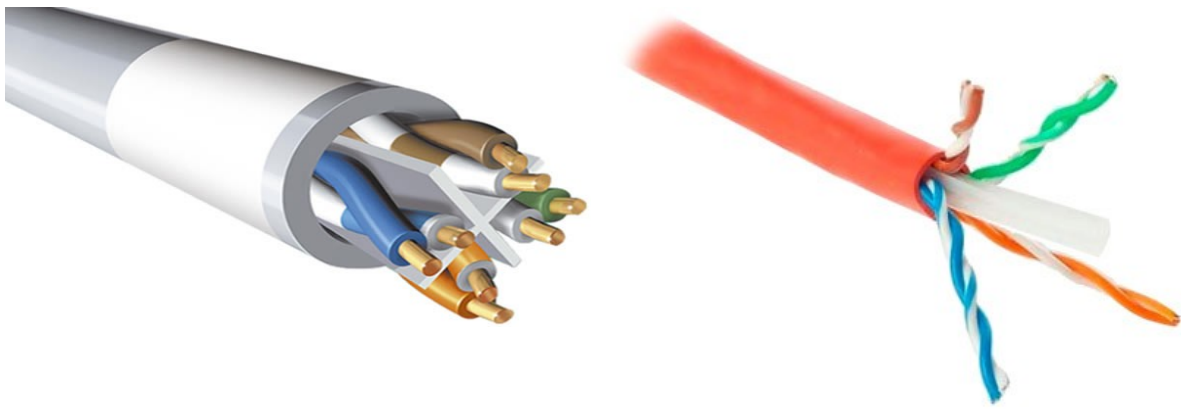


Figura 2. Cabo UTP Cat 6.

Os cabos mais usados em redes locais são chamados de **UTP (Unshielded Twisted Pair)**, ou Par Trançado Não Blindado). Os mais usados comercialmente são o **UTP Cat5e** e **UTP Cat 6**.

Quando é necessário passar o cabo na mesma tubulação onde passa o cabo de energia elétrica, é usado o cabo **FTP (Foiled Twisted Pair)**, o Par Trançado Folheado), onde os pares trançados são envolvidos por uma capa metálica, no estilo de um papel alumínio, oferecendo uma blindagem contra a interferência eletromagnética, conforme ilustrado na figura 3.

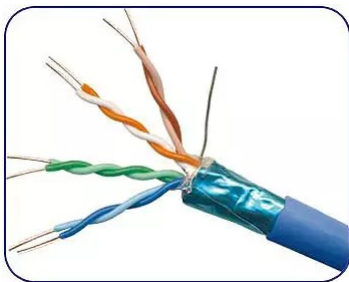


Figura 3. Cabo FTP Cat5e, para uso interno.

Quando é necessário usar o cabo em ambiente externo, exposto às intempéries, é indicado o com uma proteção plástica externa adicional, normalmente preta, conforme ilustrado na figura 4.



Figura 4. Cabos FTP Cat5e e FTP Cat6 para uso externo.

2.1 Confeção de um cabo par trançado para rede local

Os cabos padrões de rede local utilizam em cada ponta um conector padrão RJ45, que é um conector cescartável com estrutura plástica e contatos metálicos, para 8 fios (4 pares), como ilustrado na figura 5



Figura 5. Conector RJ45.

Os pinos do conector são numerados de 1 a 8. Olhando de frente para a parte metálica, com os contatos voltados para cima, conforme a imagem da direita da figura 5, o pino 1 é o da esquerda e o pino 8 é o da direita.

Existem dois padrões de cabos usados para as redes locais Ethernet: **Cabo direto** e o **cabo cruzado (crossover)**. O cabo direto conecta uma placa de computador a um hub/switch. Um cabo cruzado pode conectar dois computadores diretamente, sem a necessidade de um hub/switch. Isso ocorre porque é necessário ligar o canal de saída de um equipamento para o canal de entrada de outro equipamento, e o hub ou switch tem a pinagem invertida em relação ao computador. Atualmente, os switches são inteligentes para detectar a pinagem e invertem automaticamente a pinagem se necessário.

Os cabos Cat 5e e Cat 6 tem quatro pares trançados: (Branco do Verde, e Verde), (Branco do Laranja e Laranja), (Branco do Azul e Azul) e (Branco do Marrom e Marrom).

Removendo a capa na ponta do cabo em uns 8 a 10cm, fica fácil identificar os pares. Para fazer a conexão é preciso destrançar as pontas o suficiente para colocar os fios na posição correta no conector, e depois cortar a ponta para deixá-los todos nivelados.

Cabo direto. A conexão do cabo direto é pino a pino, ou seja, conecta-se o pino 1 ao pino 1, o 2 ao 2, e assim por diante, até o pino 8, conforme a figura 6.

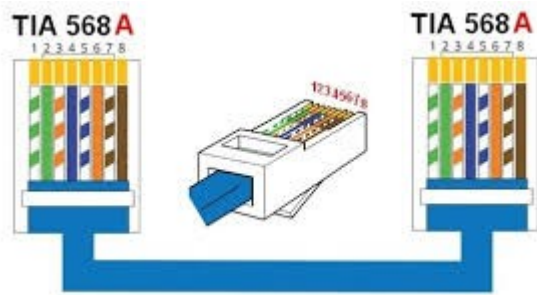


Figura 6. Pinagem do cabo direto.

Cabo cruzado (Crossover). A conexão do cabo cruzado é invertendo os pares laranja e verde, ou seja, conecta-se o pino 1 ao pino 3, o 2 ao 6, o 3 ao 1 e o 6 ao 2, conectando os demais sem alteração, ou seja, o 4, 5, 7 e 8 são ligados diretamente ao 4, 5, 7 e 8, conforme a figura 7.

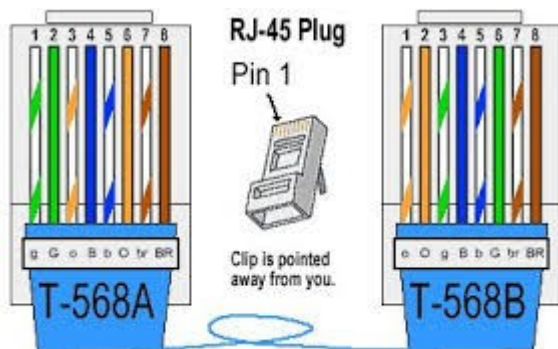


Figura 7. Pinagem do cabo cruzado (Crossover)

Para a confecção do cabo é necessário um estilete para remover a capa do cabo, e um alicate para cortar e crimpar o cabo (fixar o conector na ponta do cabo com todas as conexões estabelecidas). Um exemplo de alicate para isso é ilustrado na figura 8.



Figura 8. Alicates de crimpagem.

Os cabos Cat5e e Cat 6a permitem a conexão a até 100m.

ADSL.

Outra utilização dos cabos de pares trançados é a tecnologia dos ADSL, que utiliza o par trançado usado pela companhia telefônica para levar o sinal de voz para a casa do assinante, acrescentando um equipamento no lado do cliente (Modem ADSL) e outro no lado da operadora (DSLAM). Assim, cada assinante tem um meio físico exclusivo para seus dados, não competindo com os vizinhos. A conexão física é em **topologia de estrela**, com todos os vizinhos conectados diretamente ao equipamento concentrador da operadora no bairro.

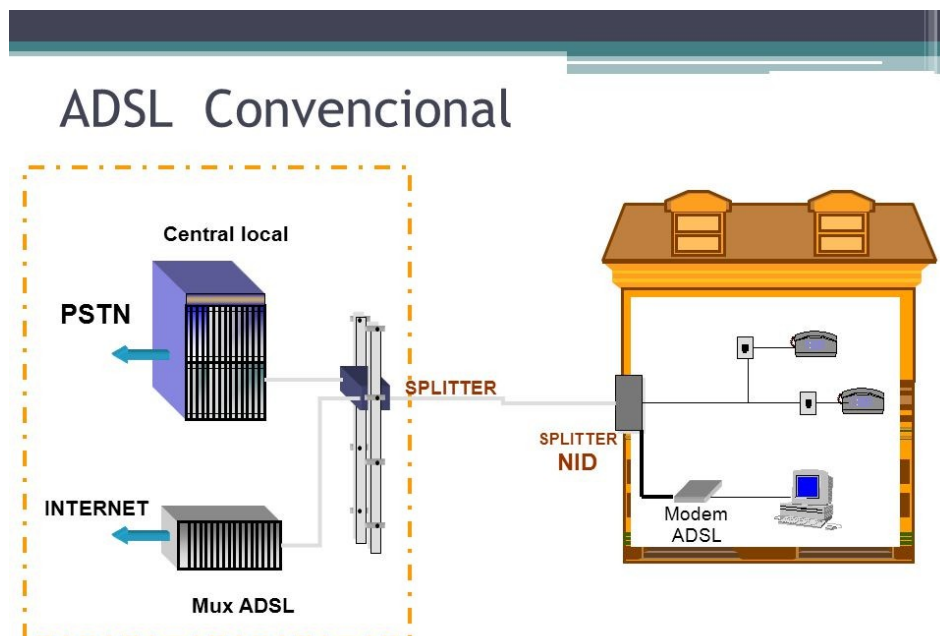


Figura 9. Esquema de conexão ADSL.

Observe na figura 9 que o mesmo cabo par trançado usado para telefonia fixa comutada pública (Public Switched Telephone Network – PSTN), que chega até a casa do assinante é usado para inserir um canal de transmissão de dados em mais alta velocidade em outra frequência não usado pelo canal de voz. Para isso, além da conexão com o PSTN, o cabo é conectado também ao Multiplexador ADSL (também chamado DSLAM), e na casa do assinante é necessário um modem ADSL. Os splitters são somente filtros de frequência, para separar o canal de voz (telefone) do canal de dados (modem).

3. Cabos Coaxiais

Outro meio de transmissão metálico é o cabo coaxial (às vezes referido principalmente no idioma inglês apenas como ‘coax’). Ele tem melhor blindagem que os pares trançados e, assim, pode se estender por distâncias mais longas em velocidades mais altas.

Existem vários tipos de cabos coaxiais, e talvez o mais usado atualmente seja o de TV a cabo, que tem 75 ohms.

Um cabo coaxial consiste em um fio de cobre esticado na parte central, protegido por um material isolante. O isolante é envolvido por um condutor cilíndrico, geralmente como uma malha sólida entrelaçada. O condutor externo é coberto por uma camada plástica protetora. A figura 10 apresenta uma vista de corte de um cabo coaxial.

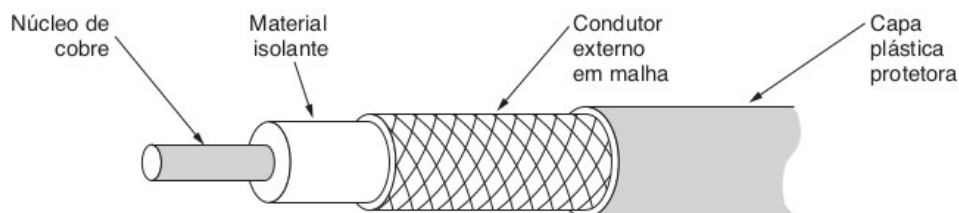


Figura 10. Um cabo coaxial. Fonte: Tanenbaum (2013)

A construção e a blindagem do cabo coaxial proporcionam a ele uma boa combinação de alta largura de banda e excelente imunidade ao ruído. A largura de banda possível depende da qualidade e do tamanho do cabo. Os cabos modernos têm uma largura de banda de até alguns GHz.

Os cabos coaxiais eram muito usados no sistema telefônico para linhas de longa distância, mas agora estão sendo substituídos por fibras ópticas nas rotas de longa distância. Também chegaram a ser usados nas primeiras redes Ethernet, mas foram substituídos pelos cabos de pares trançados, que são mais baratos e oferecem mais facilidade de instalação e manuseio.

Porém, os cabos coaxiais ainda são usados em redes de televisão a cabo e em redes metropolitanas, que também estão sendo substituídas por fibras ópticas.

O fornecimento de Internet por meio da rede de TV a cabo é feito com o auxílio de Cable Modems, e aproveitam o cabeamento coaxial já instalado, reduzindo o investimento necessário. Uma desvantagem da tecnologia é que a rede **funciona em barramento**, ou seja, o sinal que chega em um apartamento atendido por uma operadora, chega em todos os demais apartamentos do mesmo condomínio atendidos pela mesma operadora. Dessa forma, nesse trecho da rede só pode ter um computador transmitindo a cada instante (uma segunda transmissão destruiria a primeira). Assim, a capacidade de transmissão é compartilhada entre todos os assinantes.

4. Linhas de Energia Elétrica

Os custos de instalação de uma ampla rede de cabos metálicos para levar os dados até as casas dos clientes é alto. Pensando nisso surgiu a ideia de aproveitar a rede elétrica já disponível até a casa dos clientes para transmitir dados. Esse tipo de tecnologia às vezes é conhecido pelo nome de **PLC (Power Line Communications)**, e possui duas aplicações distintas. A primeira (**outdoor**) é levar acesso à Internet por meio da rede pública de energia, ou seja, um alcance de rede metropolitana (MAN), conforme ilustrado na figura 11.

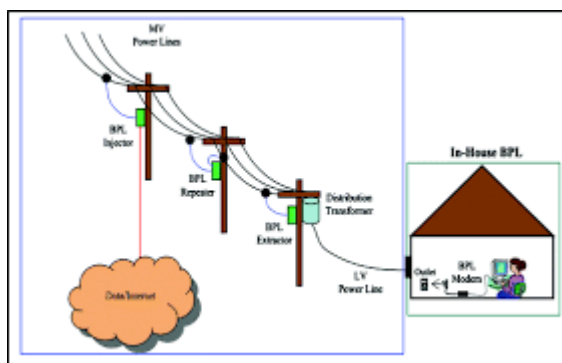


Figura 11. PLC para fornecimento de Internet

Para esta forma de implementação, é necessário que a operadora de energia instale equipamentos para transportar os dados por fora dos transformadores de alta tensão, pois eles não são projetados para deixar passar os sinais de dados. No Paraná a Copel realizou pesquisas com esse tipo de tecnologia, tendo instalado em testes em algumas cidades, mas o serviço não foi oferecido comercialmente em todo o estado, e aparentemente foi descontinuado, sendo priorizada a solução com fibra óptica.

A segunda aplicação (**indoor**) é montar uma rede local (LAN) sobre a rede elétrica. Geralmente é considerada em locais onde a rede elétrica já está instalada, mas há uma dificuldade em levar outros cabos (prédios históricos, ambientes com tubulações entupidadas ou com mobília sob medida). A figura 12 ilustra o esquema geral de uma rede local usando a rede elétrica, e um exemplo de equipamento usado para isso.

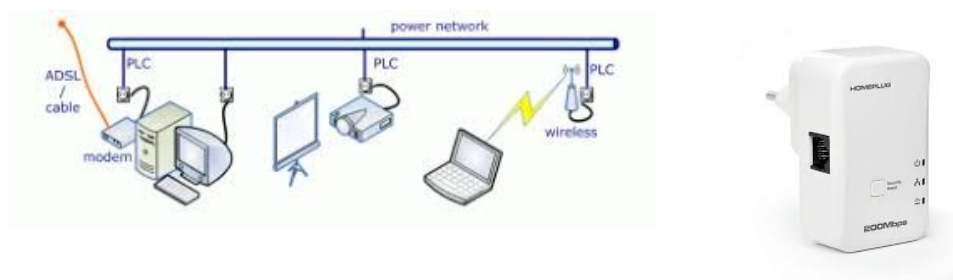


Figura 12. Aplicação de PLC em rede local, e exemplo de equipamento para essa finalidade.

Observe que a rede elétrica também funciona em barramento. Ou seja, o sinal inserido por um equipamento na rede elétrica se espalha por todo o cabeamento elétrico.

Algumas características precisam ser consideradas. Em uma rede elétrica doméstica é comum haver duas ou três fases diferentes. Se o sinal for inserido em uma fase em um cômodo da casa, esse sinal só estará disponível nos outros cômodos que forem atendidos pela mesma fase.

Se a fiação elétrica for antiga e estiver oxidada, essa oxidação pode causar interferência na comunicação. Outro fator de interferência são os disjuntores. Mesmo estando na mesma fase, se cômodos diferentes forem atendidos por ramais diferentes do quadro de força (estiverem conectados em disjuntores diferentes), pode ser necessário colocar um equipamento especial no quadro de força para transmitir o sinal.

4.1 Funcionamento.

Para transmitir o sinal de dados na mesma fiação que conduz a rede elétrica é necessário usar outras frequências. O princípio básico de funcionamento das redes PLC é que, como a frequência dos sinais de conexão é na casa dos MHz (1 a 30 MHz), e a energia elétrica é da ordem dos Hz (50 a 60 Hz), os dois sinais podem conviver em harmonia, no mesmo meio. Com isso, mesmo se a energia elétrica não estiver passando no fio naquele momento, o sinal da Internet não será interrompido. Isso é ilustrado na figura 13.

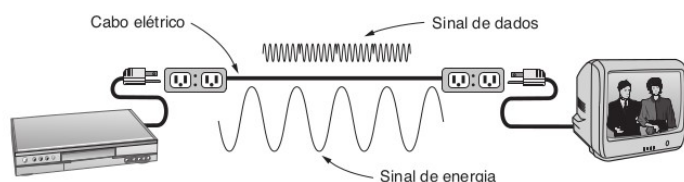


Figura 13. Rede de dados transmitida em alta frequência sobre a rede doméstica de energia elétrica. Fonte: Tanenbaum (2013).

5. Fibra óptica.

Diferentemente da propagação de sinais elétricos através de meios metálicos, os cabos ópticos (contendo uma ou mais fibras ópticas) conduzem sinais luminosos de uma ponta a outra.

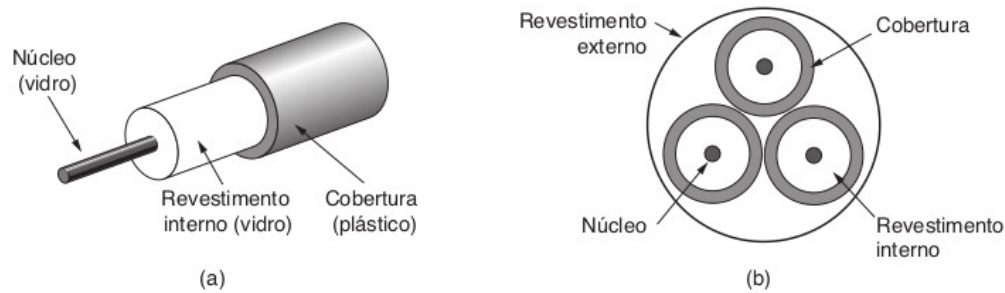


Figura 14. (a) Vista lateral de uma fibra. (b) Vista da extremidade de um cabo com 3 fibras.

Já fazem muitos anos que se conhece a tecnologia de fibra óptica, mas nas primeiras décadas o custo da fibra sempre foi significativamente mais alto do que o dos cabos metálicos. Particularmente na última década os custos dos sistemas de fibra óptica tem sido reduzidos significativamente, o que tem motivado a substituição de enlaces metálicos por enlaces óticos.

5.1 Vantagens.

Os enlaces de fibra possuem algumas vantagens importantes sobre os enlaces metálicos: 1) Maior capacidade de transmissão; 2) Imunidade a interferência eletromagnética; 3) Maior alcance; 4) Maior durabilidade; 5) Mais leve e mais fino.

1) Capacidade de transmissão. As fibras ópticas possuem uma capacidade de transmissão muito mais elevada do que os cabos metálicos. Atualmente o limite de capacidade de transmissão dos sistemas ópticos está mais nos equipamentos que fazem as conversões do sinal elétrico para o sinal ótico do que a capacidade da fibra óptica em transportar o sinal luminoso. Atualmente, na maioria dos enlaces óticos a capacidade prática gira em torno de 100Gbps, mas a capacidade teórica das fibras gira em torno de 50.000Gbps (50Tbps).

2) Imunidade a interferência eletromagnética. Por não ser constituído de meio metálico, a fibra óptica não sofre interferência eletromagnética, o que permite que o cabo óptico seja lançado junto com cabos elétricos ou mesmo passando junto a equipamentos que geram

campos eletromagnéticos. Isso reduz bastante a incidência de erros.

3) Maior alcance. Os cabos metálicos de alta velocidade tem um alcance relativamente curto. Por exemplo, os cabos Cat 5e e Cat 6a permitem o alcance de até 100m, com 1Gbps. Já com fibra óptica, o alcance pode ser de até 2Km para fibra multimodo, e 100Km para fibra monomodo.

4) Maior durabilidade. Os cabos metálicos muitas vezes estão sujeitos a oxidações que geram alterações nas suas características elétricas, gerando ruídos nos sinais, degradando a qualidade da transmissão até se tornar inviável. Essa degradação depende de características como a umidade, variação de temperatura, ação de intempéries e a qualidade de construção do cabo. Os cabos óticos não estão sujeitos à oxidação e muitas vezes podem ter uma durabilidade maior.

5) Mais leve e mais fino. A fibra óptica tem uma espessura muito mais fina que o cabo metálico. Os cabos Cat 5e tem aproximadamente 5mm de espessura. Um cabo equivalente de fibra óptica para uso interno tem aproximadamente 1 a 2mm de espessura. Isso facilita a passagem de um ou vários cabos em tubulações e canaletas. Uma única fibra também pode substituir cabos com centenas de pares metálicos usados por operadoras de telefonia. Além do espaço físico, o peso pode ser importante. Pode-se um conjunto de cabos totalizando 1.000 pares metálicos que pesam 8 toneladas por quilômetro por duas fibras, que tem mais capacidade e pesam 100Kg por quilômetro. Isso permite usar estruturas de suporte mais simples e baratas nos postes.

5.2 Desvantagens.

Por outro lado, as redes com fibras ópticas tem algumas desvantagens em relação às redes com par trançado: 1) Fragilidade; 2) Necessidade de mão de obra especializada; 3) Equipamentos mais caros.

1) Fragilidade. As fibras ópticas são feitas a partir de fibra de vidro, ou plástico altamente transparente. Ambos os materiais possuem alguma flexibilidade, mas não tanto quando os pares trançados. Se uma fibra for dobrada em um canto muito agudo (com um raio de curvatura muito pequeno), a fibra se rompe. Existem vários tipos de cabos óticos, para diferentes finalidades. Por exemplo, para uso externo, suspenso entre os postes, precisa de sustentação mecânica, normalmente com a adição de um cabo de aço. Há também cabos mais finos, para uso interno, que permitem uma curvatura mais estreita, permitindo que seja passado por dentro da tubulação das residências.

2) Necessidade de mão de obra especializada. A instalação de redes de fibra óptica exige mão de obra especializada para fazer a conectorização e para passar os cabos pelas tubulações sem o risco de rompimento da fibra. Nem sempre essa mão de obra está disponível.

3) Equipamentos mais caros. Embora o preço dos cabos ópticos e equipamentos estejam sendo reduzidos ao longo do tempo, os equipamentos ópticos ainda são mais caros do que os equipamentos com interface metálica. Também existe a necessidade de equipamentos mais dispendiosos para fazer as soldagens nos cabos, seja para reparos ou para a expansão da rede.

5.3 Reflexão da Luz.

A fibra óptica possui um núcleo altamente transparente, no qual é injetado o sinal luminoso. Ao redor do núcleo existe o revestimento interno, que é outra camada com um índice de refração da luz diferente do núcleo. Dessa forma, a luz que segue pelo núcleo, tendendo a seguir em linha reta, em algum momento, quando a fibra faz alguma curva, vai se afastando do centro do núcleo até chegar no limite do revestimento interno. Ao tocar na superfície interna do revestimento interno com um ângulo suficientemente pequeno em relação à superfície, a luz é refletida novamente em direção ao núcleo, conforme ilustrado na figura 15.

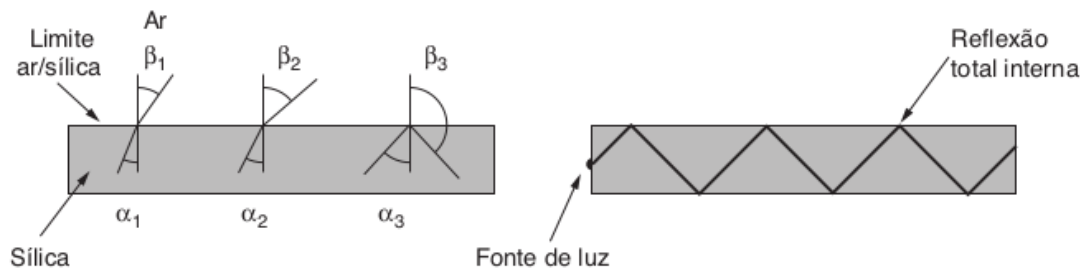


Figura 15. Incidência do raio de luz na superfície entre o núcleo da fibra e o revestimento interno, com a reflexão total interna no núcleo.

5.4 Tipos de fibra óptica

Existem basicamente dois tipos de fibra óptica: monomodo e multimodo. As fibras monomodo possuem o núcleo menor (9 micra) se comparadas com as fibras multimodo (50 ou 62,5 micra). A espessura tanto das fibras monomodo quanto das fibras multimodo, incluindo o revestimento interno de vidro é da ordem de 125 micra ou 0,125mm. Ao redor desse revestimento de vidro existe ainda a capa plástica, muitas vezes colorida, que identifica a fibra em um cabo com várias fibras. Para se ter uma ideia, a espessura de um fio de cabelo humano varia entre 60 e 120 micra.

Apenas revisando as unidades de medida, um micron é um milésimo de milímetro, ou 0,001mm, ou 0.000001m. De outra forma, 1 mm é igual a 1.000 micra. O plural de micron é micra.

Na fibra **multimodo**, a luz se propaga por vários caminhos (modos), o que significa que mais de um feixe de luz pode ser enviado ao mesmo tempo já que diferentes ângulos de incidência podem ser usados.

A fibra multimodo normalmente usa luz com menor intensidade (normalmente sua

fonte luminosa são os Diodos Emissores de Luz, conhecidos como LED). Esse tipo de fibra é mais usado em aplicações internas como em backbone de edifícios comerciais ou até mesmo no cabeamento horizontal.

Ainda em relação à fibra multimodo, podemos classificá-la em dois tipos: índice degrau (quando o índice de refração muda bruscamente e a luz sofre reflexão abrupta) e índice gradual (quando o índice de refração muda gradualmente, e com isso a luz é redirecionada suavemente conforme se afasta do centro), conforme ilustrado na figura 16.



Figura 16. Fibras multimodo com índice degrau e índice gradual.

No caso do tipo **monomodo**, a luz trafega dentro do núcleo da fibra por um único caminho (modo) sem necessitar fazer nenhuma reflexão, o que permite que ela alcance longas distâncias.

As fibras monomodo em vez de LED utiliza Laser, que possui um desempenho superior ao LED.

A figura 17 representa uma fibra monomodo, perceba que a luz faz um único caminho pelo núcleo da fibra para ir de um lado para outro.



Figura 17. Representação da propagação da luz dentro de uma fibra Monomodo.

O alcance dos dois tipos de fibra também é diferente. Enquanto as fibras multimodo tem um alcance próximo a 2Km, as fibras monomodo permitem um alcance de até 100Km.

