

Tecnologia de Redes Locais com Fibras Óticas

William Ferreira Giozza

Grupo de Redes de Computadores  
Universidade Federal da Paraíba  
Campus II - Caixa Postal 10032  
58.100 - Campina Grande - Paraíba

RESUMO

A crescente evolução da tecnologia de fibras óticas tem inspirado sua incorporação em redes locais já existentes, bem como a concepção de novas redes locais, melhor adaptadas às novas características do meio de transmissão. As características peculiares à essa nova tecnologia de transmissão, permitem a implantação de redes locais oferecendo novos serviços e aplicações. No entanto, limitações e modificações nas estruturas usuais de redes locais são impostas pela tecnologia de fibras óticas disponível atualmente. Este trabalho se propõe a apresentar as tendências atuais no uso de fibras óticas em redes locais. Os problemas de adaptação tecnológica, são analisados e discutidos, bem como suas soluções usuais. Enfim, são apresentadas várias experiências de redes locais com fibras óticas, assim como uma extensa bibliografia sobre o assunto.

ABSTRACT

The development of fiber optics technology has inspired its application to many local area networks. The unique characteristics of this technology provide new possibilities for local area networking such as new services and new applications. However, the present state of fiber optics technology puts some limits which require changes in the usual structures of local area networks. This paper intends to present current trends in fiber optics local area networking. Problems arisen from technology adaptation are discussed as well as their usual solutions. Finally, it presents various experiences and bibliography about the subject.

## INTRODUÇÃO

A crescente evolução da tecnologia de transmissão por fibras óticas tem influenciado bastante a concepção e a realização de novos sistemas de comunicações. A tecnologia de fibras óticas teve um progresso acentuado nos anos setenta e, oferece, atualmente, alternativas apropriadas a uma gama de aplicações [1]-[6]. As principais vantagens das fibras óticas em relação aos suportes de transmissão convencionais são bastante conhecidas: grandes produtos banda passante-distância, imunidade eletromagnética, isolação elétrica, excelente segurança da informação e pequeno volume e peso. Em particular, as características peculiares de capacidade e qualidade de transmissão tornam as fibras bastante atrativas em aplicações teleinformáticas, dentre as quais destacam-se as chamadas redes locais [7, 8].

A proliferação de hardware inteligente e barato, associada às necessidades crescentes de comunicação de dados, numa área geograficamente limitada, orientaram basicamente o desenvolvimento de redes locais durante a década passada. A tecnologia inicial de redes locais, desenvolveu-se baseada na associação de experiências adquiridas ao longo do desenvolvimento das redes de comutação de pacotes à longa distância e dos sistemas distribuídos de grande porte [9]. No entanto, a característica de localidade, própria das redes locais, permitiu novas soluções para o problema de interconexão e de compartilhamento de recursos computacionais distribuídos geograficamente. Várias novas técnicas de interconexão local foram propostas e implementadas, dando origem a diversos tipos de redes locais [7, 8]. Com o amadurecimento dessa tecnologia, algumas dessas técnicas se destacaram, e são, hoje em dia, objetos dos esforços de padronização internacional [10, 11].

Uma característica comum às redes locais pioneiras, é o fato de terem sido concebidas para atender requisitos de velocidade e tráfego próprios das aplicações informáticas. Em geral, as fontes de informação usuais num ambiente informático (computadores, minis, micros, terminais e periféricos em geral), geram um tráfego de informações de maneira aleatória e intermitente. O uso da técnica de comutação de pacotes, atende na maioria dos casos ao problema de compartilhamento do meio de transmissão. As velocidades de transferência necessárias são moderadas ( $< 10\text{Mbps}$ ), o que permite, na maioria das aplicações, a utilização de tecnologias de transmissão convencionais. A viabilização do sistema de interconexão do hardware e software distribuídos localmente depende da disponibilidade e, sobretudo, dos custos associados ao meio de transmissão utilizado. Problemas operacionais, bem como o

fator custo, influenciaram a adoção de topologias baseados num meio de transmissão único (e.g. barramento e anel).

A incorporação de fibras óticas à tecnologia de redes locais tem um passado recente. As primeiras experiências relatadas na literatura datam do final dos anos setenta [12, 13]. Essa associação de tecnologias procura, em geral, usufruir das qualidades de transmissão intrínsecas às fibras. O aumento da capacidade (velocidade) de transmissão associado à uma melhor confiabilidade da informação transmitida, abre novas perspectivas de aplicações em redes locais. Apesar da variedade bem como contemporaneidade das experiências é possível, hoje em dia, se destacar algumas tendências quanto ao uso de fibras óticas em redes locais:

- melhoria de desempenho do sistema de transmissão de redes existentes;
- sistemas de controle distribuído em tempo real;
- integração de serviços locais de comunicação não informáticos (e.g., voz, imagem, etc.).

A maioria dos experimentos de redes locais com fibras óticas enfrenta ainda a barreira inicial de disponibilidade e custos, própria das novas tecnologias. Entretanto, esse problema tem sido superado gradativamente. As experimentações e aplicações em redes de telecomunicações públicas clássicas (telefonía) têm contribuído significativamente para a diminuição do custo das fibras, tornando-as competitivas, por exemplo, face aos cabos coaxiais. Por outro lado, o desenvolvimento atual dos serviços públicos de telemática (voz + imagem, vídeo texto, etc.) e de novas aplicações dos dispositivos emissores e receptores de luz (videodisco ótico, impressora a laser, etc.) permite se esperar uma considerável diminuição no custo dos componentes óticos num futuro próximo. Esta última perspectiva é de grande importância para as aplicações em redes locais em função do grande número de estações geralmente interconectadas.

Além dos inconvenientes quanto ao custo e disponibilidade, a associação de fibras óticas à tecnologia de redes locais tem enfrentado problemas de outra ordem. Limitações tecnológicas aliadas às novas características dos serviços e aplicações concebidos, impõe modificações substanciais nas estruturas de base das redes locais usuais (topologia, método de sincronização, controle de acesso, etc.).

Este trabalho se propõe a apresentar e discutir os principais problemas envolvidos na utilização de fibras óticas em redes locais,

bem como as experiências atuais na área. A próxima seção apresenta um resumo do estágio atual de desenvolvimento dos dispositivos e componentes envolvidos em transmissão por fibras óticas. Nas seções seguintes são analisados e discutidas as principais tendências de aplicações de redes locais com fibras óticas, assim como suas implicações nas estruturas básicas das redes locais usuais.

## TECNOLOGIA DE TRANSMISSÃO POR FIBRAS ÓTICAS

Um sistema típico de transmissão digital por fibras óticas é o sistema ponto-a-ponto ilustrado na figura 1. A parte do sistema correspondente à transmissão ótica propriamente dita é constituída, basicamente, de um dispositivo emissor de luz, da fibra e de um dispositivo receptor de luz (fotodetector). O dispositivo emissor de luz, responsável pela conversão eletro-ótica, é comandado eletricamente pelo conjunto fonte de sinal-codificador-alimentador ("driver"). No outro extremo, o fotodetector é responsável pela conversão optoeletrônica, fornecendo o sinal elétrico para processamento da informação (regeneração, recuperação de relógio, decodificação, etc.). A fibra, responsável pela transmissão de potência luminosa, é acoplada diretamente aos dois dispositivos de extremidade.

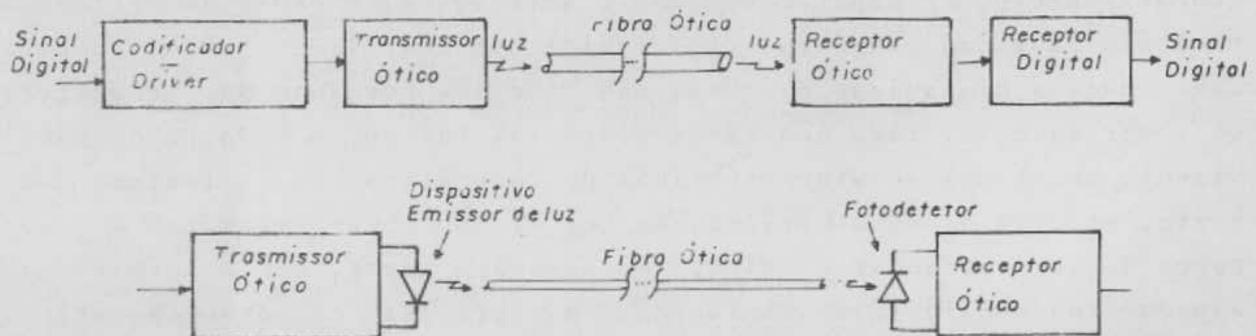


FIGURA -1 SISTEMA TÍPICO DE TRANSMISSÃO DIGITAL POR FIBRAS ÓTICAS

### Fibras Óticas

As fibras óticas constituem suportes de transmissão para a luz feitas tipicamente com sílica e compostas, em geral, de um núcleo ("core") e de uma casca ("cladding") conforme ilustrado na figura 2. As fibras são caracterizadas como guias de onda luminosos, cujas propriedades de propagação dependem do perfil da variação do índice de

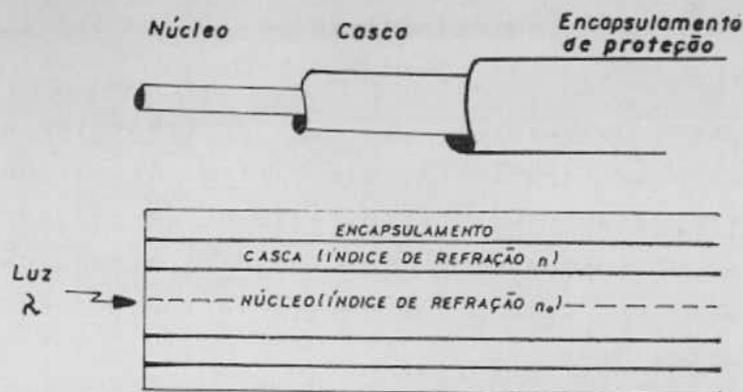


FIGURA - 2 GUIA DE ONDA LUMINOSO - FIBRA ÓTICA

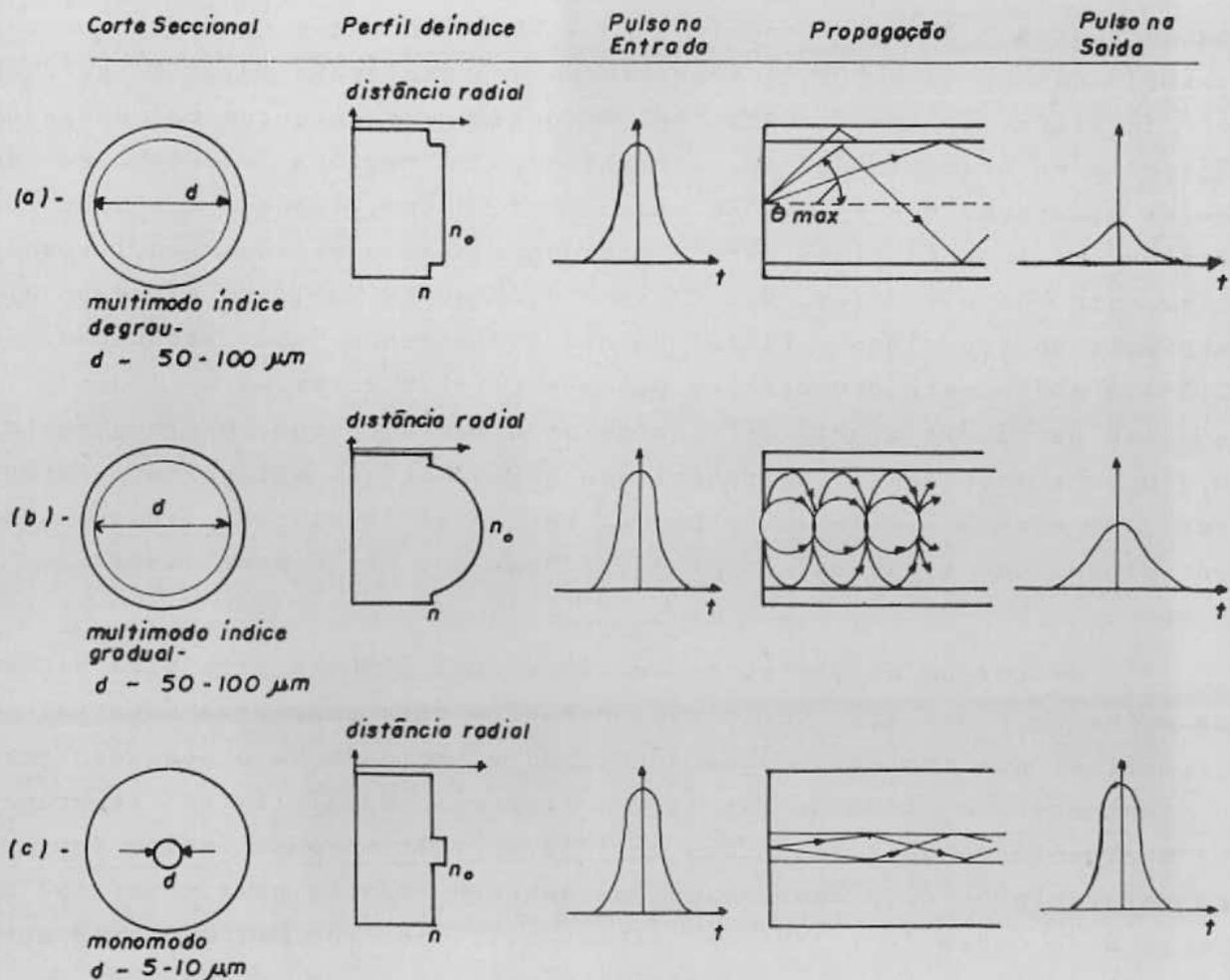


FIGURA - 3 TIPOS DE FIBRAS ÓTICAS - (a) - MULTIMODO COM ÍNDICE DEGRAU (b) - MULTIMODO ÍNDICE GRADUAL (c) MONOMODO

refração do núcleo em relação ao da casca [1]. Essencialmente, as fibras podem ser classificadas em três tipos: multimodo com índice de grau (fig. 3a), multimodo com índice gradual (fig. 3b) e monomodo com índice degrau (fig. 3c).

As propriedades das fibras como meio de transmissão podem ser determinadas pelas suas características básicas de entrada e saída tais como atenuação, distorção e eficiência no acoplamento da potência luminosa. Essa última característica é determinada pela "abertura numérica" (AN) da fibra, cujo valor está relacionado com a geometria e o perfil de índices de refração [1].

O fenômeno de atenuação em fibras óticas deve-se à absorção de energia pelas impurezas e pelo material que constitui a fibra, bem como às perdas de espalhamento ("scattering") devidas à não homogeneidade da fibra e de seu perfil de índices [1]. Uma característica importante da atenuação em fibras óticas é sua independência em relação à banda passante do sinal modulado ao contrário do que acontece, por exemplo com os suportes de transmissão convencionais [5]. A tecnologia de fibras óticas, atualmente, se desenvolve em torno das chamadas "janelas de transmissão" que correspondem às regiões espectrais de baixa atenuação que se situam em volta de  $0,8\mu\text{m}$ ,  $1,3\mu\text{m}$  e  $1,55\mu\text{m}$ . Os limites mínimos teóricos para a atenuação nessas regiões são, respectivamente, de 2,1 dB/km, 0,3 dB/km e 0,15 dB/km. Hoje em dia são disponíveis comercialmente fibras de alto desempenho com atenuação de 2,5-3,5 dB/km para operação em  $0,8\mu\text{m}$  e 0,7-1,5 dB/km para  $1,3\mu\text{m}$  [6]. A maior parte das fibras utilizadas atualmente operam na região de  $0,8\mu\text{m}$  cuja tecnologia de transmissão (dispositivos emissores, fotodetetores) está bastante amadurecida. Para essa janela de transmissão, são produzidas a custos acessíveis fibras com atenuação inferior a 5 dB/km.

A distorção em fibras é causada essencialmente pela diversidade de modos de propagação (dispersão modal) e pela dispersão material (ou cromática) que reflete a dependência da velocidade de propagação com o comprimento de onda da luz [1]. A dispersão modal limita severamente a capacidade de transmissão das fibras multimodo com índice degrau. Um valor típico de produto banda passante-distância para esse tipo de fibra é da ordem de 15 MHz.km. Fibras multimodo com índice degrau apresentando produtos banda passante-distância da ordem de 25 MHz.km e 45 MHz.km são disponíveis comercialmente. As fibras multimodo com índice gradual são menos sensíveis à dispersão modal, permitindo se aumentar consideravelmente a capacidade de transmissão. Fibras com índi

ce gradual apresentando capacidades da ordem de 200 MHz.km e 400 MHz.km são disponíveis no mercado. As fibras monomodo, insensíveis à dispersão modal, prometem capacidades enormes de transmissão (da ordem de 100 GHz.km) mas pertencem ainda ao domínio das experimentações. As pequenas dimensões das fibras monomodo (diâmetros de 5-10  $\mu\text{m}$ ) resultam em grandes dificuldades de fabricação, conexão e acoplamento com as fontes luminosas [4]. A dispersão material afeta principalmente a transmissão em fibras com índice gradual e em fibras monomodo. Esse tipo de dispersão resulta do acoplamento das fibras com fontes luminosas não coerentes (policromáticas) tais como os diodos eletroluminescentes (LED). Na região espectral de 0,8 $\mu\text{m}$ , a aplicação de LED's típicos limita o produto banda passante-distância em torno de 100 MHz.km [6]. A região de 1,3 $\mu\text{m}$  apresenta uma dispersão material quase nula mesmo com fontes luminosas do tipo LED. Esse fato, associado à característica de baixa atenuação, fazem a região espectral de 1,3 $\mu\text{m}$  bastante apropriada para sistemas de transmissão de alta capacidade à longa distância. Entretanto, a tecnologia de transmissão para 1,3 $\mu\text{m}$  está ainda em fase de desenvolvimento o que a torna menos acessível e mais cara.

### *Dispositivos Emissores de Luz*

Os principais dispositivos emissores de luz compatíveis com a transmissão por fibras óticas são os diodos eletroluminescentes (LED) e os diodos laser [1, 6]. Esses dispositivos tem dimensões microscópicas e são fabricados com tecnologias de semicondutores distintas para as faixas de 0,8-0,9 $\mu\text{m}$ , 1,3 $\mu\text{m}$  e 1,55 $\mu\text{m}$ . A tecnologia de dispositivos emissores de luz na região de 0,8-0,9 $\mu\text{m}$  está relativamente amadurecida. Isso favorece em termos de disponibilidade e custos sua aplicação mais generalizada. A tecnologia para operação na faixa de 1,3 $\mu\text{m}$  é considerada ainda em fase de transição entre o laboratório e a fabricação rotineira [6]. Na região de 1,55 $\mu\text{m}$  os dispositivos estão ainda em fase de desenvolvimento em laboratório.

Os diodos eletroluminescentes (LED) são os dispositivos emissores de luz para transmissão por fibras óticas mais simples de se utilizar. LED's típicos fornecem uma potência luminosa da ordem de centenas de microwatts para correntes de 100mA. A potência luminosa efetivamente injetada em fibras multimodo com índice degrau típicas é da ordem de dezenas de microwatts, o que representa perdas de acoplamento superiores a 10 dB [5]. A transmissão de informação é conseguida modulando-se a corrente de alimentação do LED. Frequências de modula

ção de até 200 MHz são permitidas com a tecnologia disponível atualmente [6]. No entanto, os LED's emitem luz de maneira não coerente, isto é, emitem uma banda de frequências luminosas em torno de uma frequência central. Na região de  $0,8\mu\text{m}$ , essa largura espectral (típicamente 50 nm) resulta numa dispersão material na fibra que pode limitar as velocidades de modulação no LED (100 MHz.km). Uma outra característica dos LED's é sua relativa longa vida média útil, superior a  $10^5$  horas.

Os diodos laser apresentam, em geral, um desempenho bastante melhor que os LED's. A potência luminosa efetivamente acoplada em fibras multimodo típicas é da ordem de 20 dB superior aos LED's convencionais [6]. Os diodos laser emitem com larguras espectrais bastante estreitas ( $< 2$  nm), reduzindo significativamente os efeitos da dispersão material. As frequências de modulação permitidas são bem superiores às dos LED's ( $> 1\text{GHz}$ ) [4]. Por outro lado, os diodos laser são mais caros e tem uma vida útil menor em relação aos LED's. Além disso, a potência luminosa emitida por um diodo laser varia com a temperatura. Isso requer circuitos de polarização mais complexos para compensar as variações. O sistema de compensação com a temperatura introduz uma limitação no sinal modulador. O sinal modulador não deve conter componentes de baixa frequência pois essas frequências são transmitidas pela malha de realimentação do sistema de controle modulando, portanto, a corrente de polarização do diodo laser.

### *Fotodetetores e Receptores Óticos*

Os fotodetetores mais utilizados em comunicações por fibras óticas são os fotodiodos PIN e de avalanche (APD) [1, 4]. A tecnologia considerada amadurecida é a tecnologia de fotodiodos em silício operando na região espectral de  $0,8-1,0\mu\text{m}$ . Fotodiodos para comprimentos de onda superiores ( $1,2-1,6\mu\text{m}$ ) são considerados em fase de desenvolvimento ou de pesquisa sendo, portanto, de uso muito restrito [6].

Os fotodiodos PIN apresentam uma eficiência na conversão foto-elétrica (rendimento ou "responsividade") da ordem de  $0,8$  A/W para comprimentos de onda de  $0,8\mu\text{m}$  [6]. O processo de conversão foto-elétrica é aleatório causando uma incerteza no valor da corrente elétrica fotogerada. Essa incerteza é conhecida como "ruído balístico" ("shot noise"). O tempo de resposta dos fotodiodos PIN em silício é relativamente curto ( $< 1\text{ns}$ ), permitindo aplicações com frequências superiores a 500 MHz [4]. Esse tipo de fotodetector é relativamente barato e bastante adequado para sistemas de transmissão de pequeno porte onde o

desempenho do receptor ótico não é crítico.

Os fotodiodos APD caracterizam-se por uma melhor "responsividade" em razão do ganho interno de avalanche no processo de conversão foto-elétrica. Esse tipo de fotodetector introduz, porém, uma nova incerteza na corrente fotogerada que é o "ruído de avalanche". Os APD's em silício apresentam um tempo de resposta em torno de 1 ns [4]. O efeito de avalanche nos APD's requer tensões de polarização relativamente altas (200-400 volts) exigindo compensações em temperatura.

Os receptores óticos tem a função de receber a potência luminosa transmitida através da fibra e de transformá-la, primeiro sob a forma de uma corrente elétrica e, depois, sob a forma de uma tensão elétrica que permita o processamento da informação digital recebida. Eles são constituídos por fotodetectores (PIN ou APD) associados com estágios de amplificação e conversão do sinal elétrico [6, 14]. Um parâmetro básico na caracterização dos receptores óticos é a "sensitividade" (ou sensibilidade) definida como sendo a mínima potência média necessária para um determinado desempenho. No caso de transmissão digital, o desempenho corresponde a uma certa probabilidade de erro na recepção dos símbolos que compõem o sinal digital. O cálculo da "sensitividade" de um receptor ótico é bastante complexo em função da diversidade de fontes de ruído envolvidas [14, 15]. O limite mínimo da "sensitividade" de receptores óticos é dado pelo limite quântico (ruído balístico a  $T = 0^{\circ}\text{K}$ ). Por exemplo, para uma taxa de erros binária de  $10^{-9}$ , o limite quântico estabelece um mínimo de potência luminosa da ordem de 100 pW (-70 dBm) para taxa de transmissão de 45 Mbps e da ordem de -66 dBm para taxas de 100 Mbps [5]. O estado da arte em receptores óticos apresenta "sensitividades" da ordem de 10 dB acima do limite quântico para receptores com APD operando na faixa de 0,8  $\mu\text{m}$  [6]. Os receptores com fotodiodos PIN apresentam, em geral, sensitividades da ordem de 10 dB acima daquelas dos receptores com APD [5]. Esses valores de "sensitividade" correspondem a aplicações em sistemas de telecomunicações a longa distância. Em aplicações locais pode-se utilizar receptores óticos mais simples (em geral com fotodiodo PIN) e de menor performance. A literatura técnica especializada é pobre em dados quanto a essas aplicações. Receptores óticos com fotodiodo PIN apresentando sensitividade de -24 dBm a 100 Mbps ( $10^{-9}$ ) são anunciados como produtos juntamente com transmissores (LED) que injetam -7 dBm de potência útil em fibras multimodo com índice degrau (núcleo de 200  $\mu\text{m}$ ) [16]. Receptores compactos com sensitividade de -36 dBm (10 Mbps,  $10^{-9}$ ) foram implementados para aplicações locais [17].

## Acoplamento e Conexões Passivas

O acoplamento das fibras aos dispositivos de extremidade é bastante delicado. As pequenas dimensões e potências envolvidas requerem técnicas de acoplamento sofisticadas para reduzir as perdas de inserção [4]. Em geral, os fabricantes oferecem dispositivos emissores de luz (ou transmissores) e fotodetetores (ou receptores) já acoplados com uma pequena porção de fibra conhecida como "pig-tail" (figura 4). A outra extremidade do "pig-tail" carrega um elemento de conexão passiva entre fibras. Esses conectores de fibras devem apresentar uma alta precisão mecânica a fim de manter o alinhamento entre as fibras e garantir pequenas perdas de conexão. Conectores ponto-a-ponto com perdas menores que 1 dB são disponíveis comercialmente.

Divisores de potência luminosa para conexões passivas do tipo T tem sido fabricados para atender as aplicações locais [4, 6]. O tipo mais comum é fabricado fundindo-se duas fibras conforme ilustrado na figura 5a. Uma outra solução faz uso de lentes GRIN bastante empregadas em componentes micro-óticos (Fig. 5b.) [4]. Uma terceira opção, utiliza uma superfície parcialmente prateada para atuar como lente ou espelho na junção das fibras (Fig. 5c.). O acoplador estrela passivo ilustrado na figura 5d é um outro tipo de divisor de potência para conexões passivas desenvolvido para aplicações locais. Esse tipo de acoplador permite distribuir para todas as fibras na sua saída, a potência luminosa de quaisquer das portas na sua entrada. Acopladores estrela passivos com 16 portas são disponíveis comercialmente.

Uma importante tendência de pesquisa e desenvolvimento em transmissão por fibras óticas é a utilização de técnicas de multiplexação de comprimento de onda (WDM) [4]. Dispositivos multiplexadores e demultiplexadores de comprimentos de onda luminosos tem sido bastante investigados e experimentados, abrindo novas perspectivas de aplicações [4, 18].

Os fatores de disponibilidade e custos favorecem atualmente, a transmissão por fibras óticas na região espectral de 0,8-0,9 $\mu$ m. Fibras multimodo com atenuação inferior a 5 dB/km nessa região e produtos banda passante-distância de 25 MHz.Km (índice degrau) e 200-400 MHz.Km (índice gradual) são relativamente acessíveis. Os sistemas de transmissão ponto-a-ponto em aplicações locais (e.g. curtas distâncias) são, em geral, limitados pelo fenômeno de distorção, ao contrário dos sistemas à longa distância, geralmente, limitados pela atenuação. Isso permite a utilização, em aplicações locais, de receptores óticos de menor performance e mais simples construídos com fotodiodos

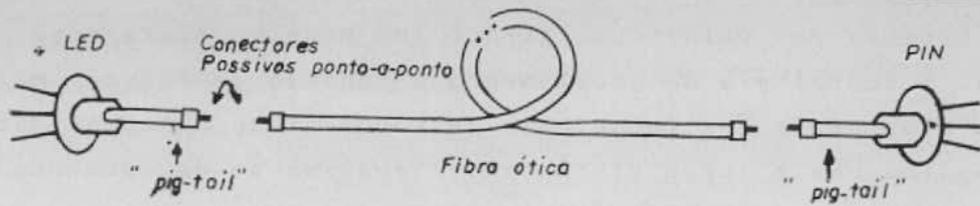


FIGURA-4 DISPOSITIVOS OPTO ELETRÔNICOS COM "PIG-TAIL"

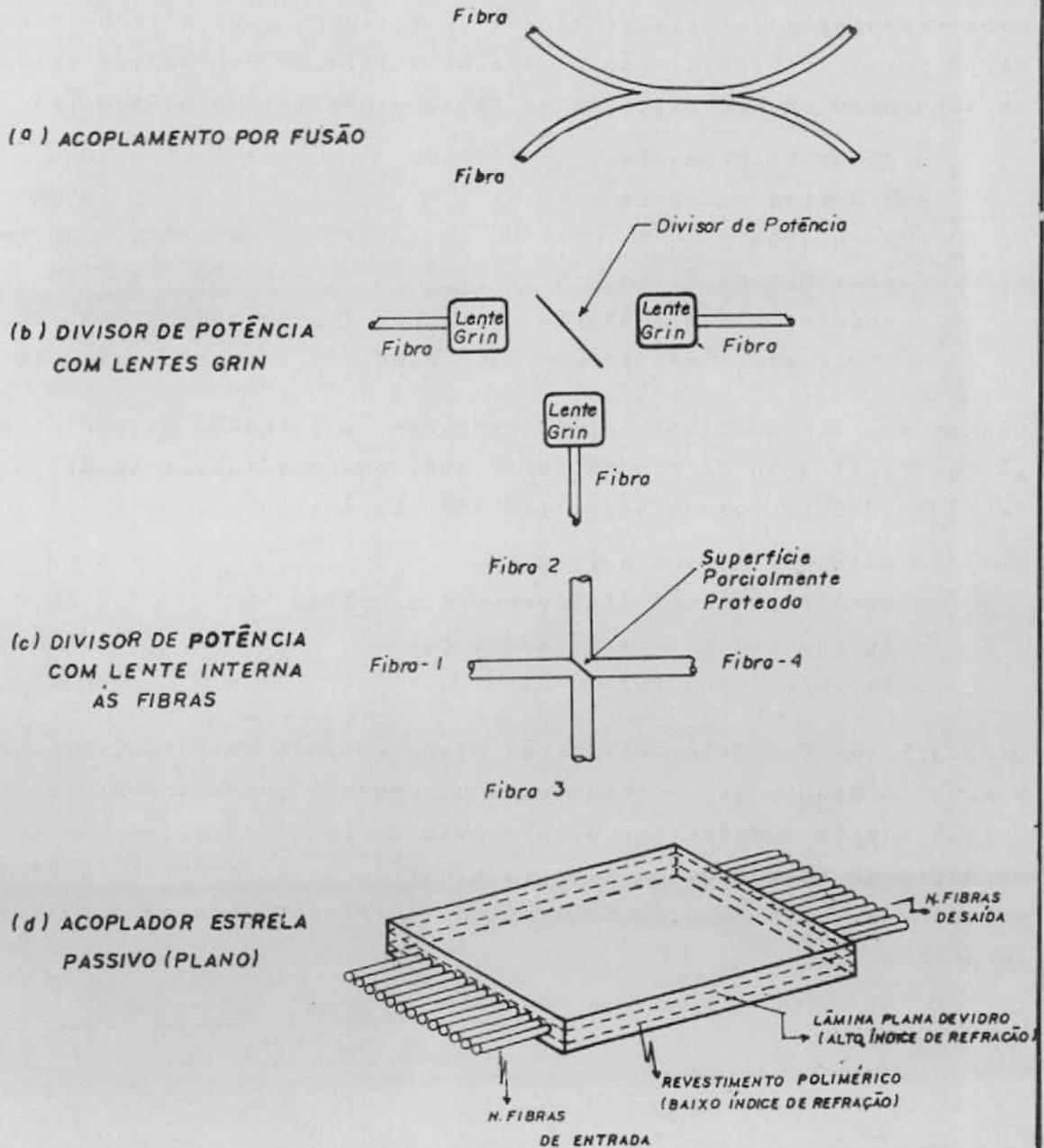


FIGURA - 5 ACOPLAMENTO ÓTICO PASSIVO [4, 6, 21]

PIN. LED's típicos permitem a realização simplificada de transmissões para sistemas com velocidade de até 100 Mbps em distâncias de um quilômetro. A tecnologia de acoplamento e conexão de fibras mais desenvolvida atualmente é a tecnologia de transmissão ponto-a-ponto típica das aplicações à longa distância. A realização de conexões passivas bidirecionais para aplicações locais exige uma tecnologia mais sofisticada, ainda em fase de desenvolvimento.

O Brasil dispõe atualmente de uma tecnologia de fabricação de fibras óticas desenvolvida em conjunto pela UNICAMP e pela TELEBRÁS. Essa tecnologia foi transferida recentemente para a indústria nacional e permite a realização de fibras multimodo com índice gradual com as seguintes características na faixa espectral de  $0,85\mu\text{m}$  |19|:

- diâmetro do núcleo :  $50\mu\text{m}$
- diâmetro da casca :  $125\mu\text{m}$
- atenuação :  $4\text{ dB/km}$
- abertura numérica :  $0,19$
- produto banda passante-distância (valor médio):  $450\text{ MHz.km}$
- comprimento máximo de fabricação :  $1,3\text{ km}$

Quanto aos dispositivos optoeletrônicos, a TELEBRÁS dispõe de tecnologia de fabricação de diodos laser operando nas faixas de  $820\text{-}870\text{ nm}$  e de  $1200\text{-}1350\text{ nm}$  com as seguintes características |20|:

- potência máxima emitida :  $5\text{ mW}$
- potência máxima efetivamente acoplada :  $2\text{ mW}$
- frequência máxima de modulação :  $800\text{ MHz}$
- largura espectral :  $20\text{ \AA}$

Dispositivos fotodetetores estão ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento enquanto que a tecnologia de conexão ponto-a-ponto de fibras óticas começa a despertar o interesse de fabricantes nacionais. Enfim, o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica da Eletrobrás (CEPEL) desenvolveu uma tecnologia de fabricação de acopladores estrela passivo com 16 portas |21|.

## TENDÊNCIAS DE APLICAÇÕES

A utilização da tecnologia de fibras óticas em redes locais, tem sido motivada principalmente pelas excelentes qualidades das fibras como meio de transmissão. As altas taxas de transmissão oferecidas, bem como a garantia de uma melhor confiabilidade da informação transmitida, tem despertado o interesse para novas aplicações, ampliando consideravelmente a vocação inicial das redes locais.

Embora enfrentem ainda importantes problemas de ordem econômica e tecnológica, as experiências de redes locais com fibras óticas tem aumentado significativamente nos últimos anos [22]-[37]. A variedade, assim como a contemporaneidade, dificulta uma classificação dos diversos tipos de experiências. No entanto, podemos destacar algumas tendências comuns aos vários experimentos:

- melhoria de desempenho do sistema de transmissão de redes já existentes;
- desenvolvimento de sistemas em tempo real para controle distribuído;
- integração dos serviços locais de comunicação.

A primeira dessas tendências, talvez a mais natural, visa melhorar o desempenho dos sistemas de transmissão de redes locais existentes, que utilizam suportes de transmissão de menor performance. Isto é feito pela simples substituição de enlaces com tecnologia de transmissão convencional (pares de fios trançados, cabos coaxiais, etc.), por enlaces com fibras óticas. Em geral, não são aplicações ambiciosas quanto às taxas de transmissão (< Mbps), e visam, ora um maior alcance dos enlaces, ora uma melhor proteção da informação em ambientes hostis. Apesar da simplicidade dos propósitos, essa substituição pura e simples de suporte de transmissão, pode ser bastante dificultada conforme o tipo de configuração da rede local. Em particular, as características de unidirecionalidade da tecnologia atual de fibras óticas, favorecem sua incorporação em configurações compostas de enlaces ponto-a-ponto (anéis, estrelas, etc.). Por outro lado, as configurações com transmissão bidirecional (barramentos), necessitam tecnologia de acoplamento mais sofisticadas e ainda muito limitativas quanto ao número de estações e alcance do sistema de transmissão [12, 21, 26]. Um exemplo deste tipo de tendência, é dado pela rede local em anel da Universidade de Cambridge [38], onde enlaces originalmente em par de fios trançados, foram substituídos por fibras óticas a fim de aumentar o alcance da rede. A substituição de pares trançados por fibras

ópticas, permite nesse caso, se aumentar o alcance dos enlaces, de 100 metros para algo em torno de 2 quilômetros utilizando tecnologia aces  
sível.

Uma outra tendência na associação de fibras ópticas à tecnologia de redes locais, diz respeito ao desenvolvimento de sistemas de con  
trole distribuído em tempo real. Esse tipo de aplicação, não corres  
ponde exatamente aos conceitos de rede local difundidos pelas aplica  
ções teleinformáticas mais tradicionais. Entretanto, ele apresenta o mesmo tipo de problema de interconexão local sob o ponto de vista da sub-rede de comunicações. As estações são compostas geralmente por sistemas de aquisição de dados, com um certo grau de inteligência in  
tegrado, compartilham um único meio de transmissão e, podem gerar in  
formações de modo relativamente autônomo. Um requisito importante pa  
ra o tráfego gerado pelas estações, é a necessidade de processamento da informação em tempo real. Esse tráfego, geralmente é centralizado em um ou mais processadores centrais e, exige da sub-rede de comunica  
ções, uma garantia de resposta compatível com os processos controla  
dos pelo sistema. O uso de fibras ópticas em sistemas de controle dis  
tribuído em tempo real, tem sido motivado essencialmente pelas quali  
dades de proteção da informação em ambientes adversos à propagação eletromagnética. Sistemas de controle em usinas elétricas e nucleares, automação de fábricas, etc., constituem exemplos dessa tendência [21, 23, 25]. Algumas aplicações fazem uso também de outras qualidades das fibras, tais como, pequeno volume e peso. É o caso, por exemplo, de sistemas de informação e controle de aeronaves e navios de grande porte. Esses sistemas podem exigir modificações importantes, em estruturas usuais básicas da tecnologia de redes locais. As novas características de tráfego, bem como aquelas intrínsecas aos processos controlados necessitam, por exemplo, uma adaptação dos métodos de sin  
cronização e técnicas de controle de acesso usuais. Os problemas de incorporação tecnológica citados anteriormente, ainda subsistem nesse tipo de aplicação, porém, eles podem ser minimizados em casos onde o número de estações é reduzido.

A integração de serviços locais de comunicação constitui, sem dúvida, a principal tendência na associação das tecnologias de fibras ópticas e redes locais. As altas taxas de informação oferecidas pelas fibras (>> 10 Mbps), abrem perspectivas de novas aplicações integrando serviços de dados, voz e vídeo. Essa característica permite, por exemplo, a transmissão de imagem de alta resolução, serviços de teleconferência e imagem animada, que necessitam velocidades de transmissão de vários megabits por segundo. Aplicações teleinformáticas grandes con

sumidoras de banda de transmissão, tais como transferência de arquivos em tempo real, são também permitidas.

O desenvolvimento de redes locais integradas com fibras óticas, enfrenta os mesmos problemas das duas outras tendências, só que, ampliados à altura de suas ambições. Fatores econômicos e de disponibilidade, tem restringido essa experiência às grandes empresas e/ou administrações, em geral, fornecedoras elas mesmas de tecnologia de fibras óticas [13, 22, 27, 28]. A integração de serviços locais de comunicação, apresentando características bastante distintas (velocidade, tipo de tráfego, tempo de resposta, etc.), encontra dificuldades em utilizar as técnicas usuais de compartilhamento do meio de transmissão. Isso, aliado aos problemas referentes à incorporação da tecnologia atual de fibras óticas, tem levado à concepção de redes locais com fibras óticas, com estruturas de interconexão local diferentes das usuais.

#### IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

A tecnologia de redes locais tem sido objeto de grandes esforços de padronização de âmbito internacional [10, 11]. Esses esforços se concentram fundamentalmente nos protocolos de comunicação de dados correspondentes ao nível de controle de enlace, nível de controle de acesso ao meio e nível físico. O trabalho de padronização tem por objetivo, entre outros, garantir uma certa transparência a essa arquitetura estratificada de protocolos. Isso é importante para que o desenvolvimento de redes locais se faça com um relativo grau de independência tecnológica. As dificuldades em se encontrar uma tecnologia de interconexão local que atenda os diversos requisitos exigidos, tem orientado os esforços para uma solução baseada na proposição de mais de um padrão para a tecnologia de redes locais. Além de atender às pressões do mercado, os padrões escolhidos possibilitam uma certa flexibilidade na implantação de redes locais com novas tecnologias e aplicações.

No tocante ao nível físico a padronização é orientada para velocidades de transmissão até 20 Mbps e consagra as configurações em barramento linear ("bus") e em anel ("ring") como topologias preferenciais para redes locais. Os métodos de controle de acesso escolhidos são o controle do tipo contenção CSMA-CD [39], exclusivo às configurações em barramento linear, e controle de acesso por passagem de FICHA ou BASTÃO ("token") [7] em quaisquer das duas configurações. Quanto ao nível de controle de enlace são propostas duas classes de servi

ços. A primeira caracteriza-se por um serviço de transferência de dados onde não há retransmissões nem reconhecimentos na recepção dos dados (tipo datagrama). A segunda classe caracteriza-se pela existência de mecanismos de controle de erros ao nível de enlace através de reconhecimentos e retransmissões (tipo HDLC).

Os requisitos de transparência dos níveis de protocolos da tecnologia de redes locais ficam relativamente comprometidos quando se utiliza fibras óticas como meio de transmissão. A escolha de uma determinada topologia, por exemplo, é influenciada pelo estudo atual da tecnologia de fibras óticas [40, 6]. Além disso, as altas taxas de transmissão permitidas pelas fibras e a possibilidade de integração de novos serviços de comunicação local sugerem técnicas de sincronização e de compartilhamento do meio de transmissão melhor adaptadas.

### *Topologias*

As fibras óticas, como vimos anteriormente, caracterizam-se pelas pequenas dimensões (5-100 $\mu$ m) e potências de sinal acopladas (microwatts). Isso contrasta significativamente com os suportes de transmissão convencionais que apresentam dimensões da ordem de milímetros e potências da ordem de centenas de miliwatts.

O acoplamento dos dispositivos emissores de luz e fotodetetores às fibras é bastante dificultado em razão das dimensões microscópicas envolvidas que exigem conexões com estruturas pequenas e delicadas. As conexões passivas entre fibras sofrem também dessas mesmas restrições. Essas dificuldades fazem com que seja mais fácil a inserção de potência luminosa na fibra em uma única direção. Em razão dessa relativa facilidade, a tecnologia de transmissão por fibras óticas mais desenvolvida atualmente é a ponto-a-ponto. Uma consequência imediata desse fato é a facilidade de incorporação de fibras óticas em redes locais com configurações em anel ou em estrela (radial).

Por outro lado, as redes locais com configuração em barramento enfrentam grandes dificuldades na utilização de fibras óticas. Essa configuração é baseada em suportes de transmissão bidirecionais (e.g. cabos coaxiais) onde a potência de sinal pode ser inserida facilmente nos dois sentidos. Além disso, o caráter passivo das conexões das estações com o meio permite um alto grau de confiabilidade para a rede global. No caso das fibras óticas é difícil de se obter o equivalente dessas conexões bidirecionais passivas. A figura 5 ilustra três alternativas de implementação física para conexões óticas passivas. Essas conexões são essencialmente derivadores de potência ótica. Consideran

do-se a pequena margem de perdas permitidas entre transmissores e receptores óticos é necessário que o número de conexões ao longo do barramento seja bastante reduzido (em geral, menor que 10). Além disso, as diferenças de perdas nas várias combinações possíveis para o enlace transmissor-receptor criam sérios problemas de implementação quanto à faixa dinâmica dos receptores óticos [21].

Uma alternativa à topologia de barramento linear ("bus") é a chamada topologia de barramentos em estrela. Introduzida em 1978 [12], essa configuração permite desenvolver com fibras óticas o conceito de "ether" popularizado por Ethernet [39]. A topologia de barramentos em estrela é baseada na existência de um elemento central que possibilita a conexão passiva de várias fibras. O elemento central conhecido como acoplador estrela passivo (figura 5d), associado à tecnologia de transmissão ponto-a-ponto, permite recriar com fibras óticas o conceito de difusão passiva. Essa estratégia, ilustrada pela figura 6, garante uma melhoria no balanço de potências em relação ao barramento linear. Além disso, reduz consideravelmente os problemas de faixa dinâmica na implementação dos receptores óticos [21]. Embora melhor que as conexões do tipo T passivas, a aplicação de acopladores estrela passivos em redes locais é ainda muito restritiva quanto ao número de estações. Exemplos dessa topologia de barramentos em estrela passiva são encontrados também nas redes locais CODENET (acoplador com 8 portas) [31] e DBMS (acoplador com 16 portas) [35].



FIGURA - 6 CONFIGURAÇÃO DE BARRAMENTO EM ESTRELA PASSIVO

As restrições quanto ao número máximo de estações possíveis de serem interconectadas motivaram uma segunda versão para Ethernet com fibras óticas [26]. Nessa versão, ilustrada na figura 7, um repetidor (acoplador) estrela ativo com 25 portas associado a multiplexadores de 8 canais permite a interconexão de até 200 estações. O algoritmo de detecção de colisão é implementado eletricamente no repetidor estrela ativo. Essa versão com fibras óticas anula evidentemente algumas das qualidades originais do sistema Ethernet. O número de suportes fí

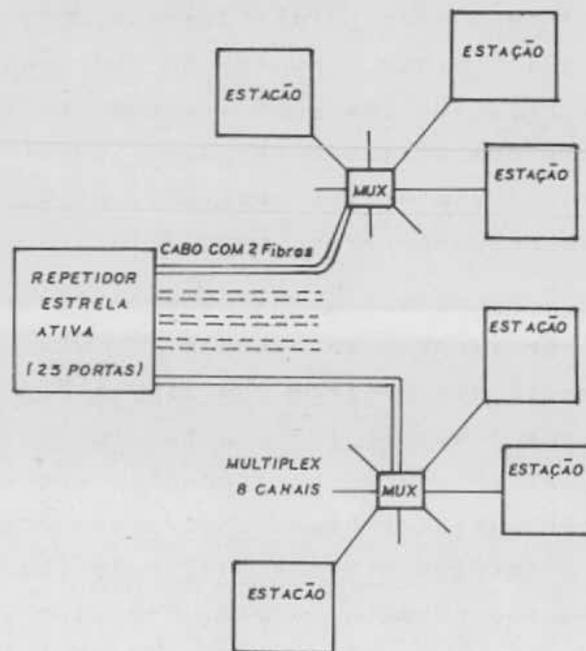


FIGURA-7 CONFIGURAÇÃO BARRAMENTO ESTRELA ATIVA [26]

sicos de transmissão passa a ser, como na versão passiva anterior, proporcional ao número de estações. Além disso, o sistema de controle de acesso, originalmente distribuído, passa a ser centralizado. Um outro exemplo dessa arquitetura em estrela ativa é a rede desenvolvida na Universidade de Waseda, Japão [29].

A configuração passiva de barramentos em estrela pode ser usada, por exemplo, em aplicações com sistemas de controle supervisorio em ambientes bastante ruidosos. Esse tipo de aplicação, em geral, não exige um grande número de estações. Além disso, os requisitos de confiabilidade e segurança são mais facilmente alcançados por causa da passividade relativa do meio de transmissão.

A configuração em estrela simples é, em geral, dissociada da tecnologia de redes locais em função do seu alto grau de centralização. Entretanto, essa configuração caracteriza os sistemas do tipo PBX [41] que concorrem com as redes locais na aplicação de serviços integrados de voz e dados (até 64 Kbps) [42]. Os sistemas PBX tem evoluído bastante ultimamente, constituindo uma importante tendência no uso de fibras óticas em aplicações locais [43, 44].

Uma conclusão que pode ser avançada é que, atualmente, a maioria das implementações práticas de redes locais com fibras óticas,

tem de optar por configurações com enlaces ponto-a-ponto (anel ou estrela) ou por configurações híbridas, combinando enlaces ativos com barramentos (e.g. barramentos ativos em estrela) |40|.

Os enlaces ativos característicos das configurações atualmente melhor adaptadas à absorção da tecnologia de fibras óticas, necessitam, no entanto, cuidados especiais quanto à confiabilidade do sistema. Um componente ativo em pane, pode comprometer todo o sistema. Isso tem exigido esforços na busca de estratégias para garantir um nível de segurança satisfatório. Uma estratégia básica consiste em se integrar ao máximo os circuitos ativos. Além de atender os requisitos econômicos de produção em larga escala, a integração tende a aumentar a confiabilidade individual dos componentes do sistema. Isso, no entanto, é insuficiente quando o número de componentes ativos é muito grande. Uma segunda estratégia básica complementar consiste em se dar um determinado grau de redundância ao sistema permitindo assim a isolação de falhas individuais bem como uma reconfiguração do sistema. A duplicação dos enlaces e dos componentes ativos assim como o uso de técnicas de isolação ("bypass") podem ser usados para se conseguir um certo nível de tolerância às falhas individuais. Uma outra estratégia para diminuir a vulnerabilidade do sistema consiste em se utilizar configurações múltiplas ou híbridas do tipo anéis múltiplos, anéis em estrela, etc. |8|. Como exemplo dessas estratégias temos as redes locais integradas RIPS-NET |24, 27| e SIGMA |22| que duplicam os enlaces óticos e utilizam uma configuração híbrida multi-anel. Além de responder aos requisitos de segurança essa última estratégia permite uma grande flexibilidade na expansão e interconexão da rede.

### *Sistemas de Sincronização*

As altas taxas de transmissão oferecidas pelas fibras óticas (>> 10Mbps) abrem perspectivas de novos serviços e aplicações que introduzem exigências adicionais às estruturas básicas das redes locais em fase de padronização. A eficiência na utilização da banda de transmissão disponível, é, por exemplo, bastante influenciada pela taxa de bits na transmissão e pelo método de sincronização das estações |40|.

Considerando os enlaces ponto-a-ponto ativos, característicos das configurações melhor adaptadas atualmente a utilização de fibras óticas, podemos destacar três métodos básicos de sincronização das estações:

- assíncrono intermitente;
- síncrono não coerente;
- síncrono coerente.

O sistema de sincronização assíncrono-intermitente é o mais difundido dos métodos através das redes locais com controle CSMA-CD [39, 12, 31]. Esse sistema apresenta como vantagem principal o fato de não requerer um relógio central, nem mecanismos de distribuição de relógio para a rede. Esse método de sincronização caracteriza-se pela presença de informação de relógio no meio de transmissão apenas durante a transferência de um bloco de dados (caracter, pacote, quadro, mensagem, etc.). O início de cada bloco de dados deve conter uma seqüência de bits de sincronismo a fim de permitir que a estação receptora recupere previamente, o relógio necessário para a identificação dos bits de informação subseqüentes. O comprimento necessário para a seqüência de bits de sincronismo está relacionado com a taxa de transmissão, a relação sinal-ruído na recepção e a banda passante do circuito de recuperação de relógio [45]. Em geral, os imperativos econômicos de integração, característicos das redes locais, privilegiam o uso de PLL's ("phase-locked loop") como circuito recuperador de relógio. Compromissos de projeto de PLL, tais como tempo de aquisição e ruído de fase na recuperação do relógio, fazem com que o número de bits necessários à seqüência de sincronismo varie com a taxa de transmissão. Assim, por exemplo, para taxas pequenas (< 10 Mbps), a seqüência de sincronismo representa uma porção insignificante do número total de bits transmitidos (1 a 2% para pacotes de 1000 bits). Por outro lado, para taxas de transmissão da ordem de 100 Mbps ou mais, a seqüência de bits de sincronismo pode representar uma porção considerável de 10 a 20% [45].

Os sistemas síncronos caracterizam-se pela presença constante da informação de relógio no meio de transmissão. Isso elimina a necessidade de seqüências de sincronismo ao nível de bit no início de cada transmissão. Dos sistemas síncronos o mais simples é o método síncrono não-coerente. Cada estação tem seu próprio relógio de emissão e todos os enlaces apresentam permanentemente a informação de relógio no meio de transmissão. Nesse método os enlaces trabalham numa frequência nominal comum mas não estão amarrados em fase. É necessário, portanto, uma certa capacidade de armazenamento em cada estação a fim de compatibilizar as discrepâncias entre o relógio do enlace de entrada e o de saída das estações. Na maioria das aplicações em redes locais esse armazenamento intermediário das mensagens resulta num desempenho

insatisfatório [48]. Por outro lado, o projeto desse tipo de sistema de sincronização é bastante simplificado pois não apresenta os problemas de tempo de aquisição do método assíncrono nem a complexidade do mecanismo de sincronização mútua do método síncrono coerente.

O método síncrono coerente se caracteriza pelo fato de que todas as estações se sincronizam em frequência e fase a uma mesma base de tempo. Esse tipo de método de sincronização é bastante utilizado pelas redes locais em configuração de anel [13, 22, 24, 32, 33]. O relógio único é geralmente contido numa estação monitora que se encarrega também de "fechar" o anel sincronante. Uma alternativa engenhosa de descentralização física do relógio consiste em fazer com que todas as estações compostas de PLL's se equilibrem numa frequência comum correspondente a um número inteiro de bits no anel lógico [38]. Esse método de sincronização apresenta um problema característico que é o fenômeno de acumulação de "jitter" de fase ao longo de uma cadeia de repetidores com PLL's [46]. Além disso, exige uma certa capacidade de armazenamento na estação monitora a fim de compatibilizar em fase os relógios de entrada e saída. A capacidade de armazenamento necessária na estação monitora é, em geral, pequena, da ordem de uma dezena de bits, mas pode ser maior no caso em que a estação monitora tenha outras funções tais como aumentar artificialmente o anel lógico, interconexão de redes, supervisão e controle, etc. Apesar das configurações em anel apresentarem vantagens quanto ao alcance e flexibilidade das redes, o fenômeno de acumulação de "jitter" de fase, característico desse método de sincronização, pode limitar consideravelmente o número de estações possíveis de serem conectadas ao anel. O projeto do sistema síncrono coerente envolve considerações cuidadosas quanto às características dinâmicas dos PLL's que compõem o sistema [46]. Resultados analíticos confirmados experimentalmente, mostram a viabilidade desse sistema de sincronização para redes em anel operando a 4 Mbps com 200 estações ou mais [47].

### *Controle de Acesso*

O avançado estágio de integração VLSI dos mecanismos de controle de acesso ao meio de transmissão do tipo contenção CSMA-CD tem favorecido em termos de simplicidade e economia sua utilização generalizada em redes locais operando com taxas moderadas (< 10 Mbps). Esse tipo de controle de acesso é, em princípio independente do suporte de transmissão propriamente dito. Em outras palavras, as fibras óticas não impõem por si só restrições à técnica de controle de acesso CSMA-CD.

Entretanto, esse mecanismo está intimamente associado à topologia em barramento e ao método de sincronização assíncrono-intermitente com as implicações já discutidas. Além disso, o mecanismo CSMA-CD, caracterizado pela aleatoriedade no acesso das estações ao meio, apresenta um desempenho que varia consideravelmente com a velocidade de transmissão |36| e com o grau de utilização da rede (i. e., com o tipo de tráfego |48, 49|. Isso tem estimulado o desenvolvimento de técnicas de controle de acesso para redes locais com fibras óticas melhor adaptadas às altas taxas de transmissão permitidas pelas fibras, bem como à perspectiva de integração de serviços com características de tráfego bastante diversas. A rede local HUBNET |37| apresenta um mecanismo de seleção e difusão centralizado que evita colisões nas transmissões, garantindo melhor desempenho sob condições de tráfego pesado e melhor eficiência na utilização da banda de transmissão disponível. D-Net |50| propõe um engenhoso mecanismo de acesso de alta eficiência e desempenho para redes locais com fibras óticas operando em altas taxas de transmissão (100 Mbps ou mais).

O mecanismo de controle de acesso por passagem de FICHA ("token"), a despeito da relativa complexidade de implementação, caracteriza-se por um determinismo no acesso das estações ao meio que o torna relativamente transparente às variações de tráfego |49|. Isso favorece a implantação de serviços com tráfego em tempo real tais como voz digitalizada, controle de processos, etc. Esse tipo de mecanismo de acesso é utilizado, por exemplo, na rede em anel C & C OPTONET |28| que integra serviços à uma taxa de 32 Mbps entre até 126 estações. A rede da Universidade de Waseda, em configuração de barramentos em estrela ativa, utiliza dois tipos de mecanismo de acesso derivados do de passagem de ficha, permitindo suportar serviços como dados, voz digitalizada, fac-simile e imagem animada |29|.

As experiências de redes locais com fibras óticas integrando serviços locais de comunicação mostram uma tendência de associação da tecnologia de comutação de pacotes com as técnicas de compartilhamento do meio de transmissão tradicionais em telecomunicações (FDM, TDM, TDMA, etc.). Essa associação possibilita uma divisão do meio de transmissão em várias sub-redes de comunicação cada uma atendendo classes de serviços com requisitos bastante diferentes.

Os serviços de comunicação analógica tais como voz e televisão tem se associado gradativamente à evolução da tecnologia digital. Conversores analógico-digital (A/D) para voz são disponíveis comercialmente bem como conversores A/D para imagem semi-animada (teleconferência).

Os esforços de pesquisa e desenvolvimento na área de digitalização de imagem animada tem apresentado resultados significativos na redução da taxa de transmissão para esse serviço [51]. Uma vez digitalizados, esses serviços podem ser integrados de maneira transparente ao serviço de dados, através da técnica de multiplexação por divisão no tempo (TDM). Essa técnica de compartilhamento do meio de transmissão repousa essencialmente na existência de um sistema de sincronização para a rede local, do tipo síncrono coerente. A capacidade de transmissão é dividida em sub-redes de comunicação atendendo classes de serviços distintos. Cada sub-rede pode ainda ser sub-dividida em canais com alocação fixa ou dinâmica para atender à várias aplicações. O compartilhamento do meio de transmissão é implementado ao nível de bit podendo facilmente garantir uma transparência aos protocolos de nível superior. FIPNET [32] utiliza esses conceitos para fornecer serviços de comunicação local dedicados (síncrono e assíncrono) e serviços comutados com controle de acesso por ficha cabeada. A técnica de multiplexação por divisão assíncrona no tempo (TDMA), juntamente, com a técnica de "polling" é proposta como método de controle de acesso para redes de alta capacidade [33, 52]. A associação TDMA e "polling", juntamente com mecanismos de controle de prioridade, permite integrar de maneira eficiente serviços de comunicação síncrona (contínuo) e assíncrona (intermitente) em uma rede local em anel operando com taxas de 400 Mbps [33]. As redes SIGMA [22] e RIPS-NET [24, 27] usam uma técnica similar que permite suportar serviços de comutação de pacotes (voz e dados) e serviços ponto-a-ponto dedicados.

O equivalente da multiplexação por divisão em frequência (FDM) em comunicação por fibras óticas é a multiplexação por divisão em comprimento de onda (WDM). A tecnologia WDM é ainda muito restrita, mas tem inspirado a concepção de sistemas de transmissão bidirecionais para configurações em barramento e a integração de serviços de comunicação através de uma única fibra de alta capacidade [52, 18, 21].

A tabela 1 resume as características das redes locais com fibras óticas apresentadas ao longo do texto.

TABELA - 1 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE REDES LOCAIS COM FIBRAS ÓTICAS

CARACTERÍSTICAS	TOPOLOGIA	TAXA DE TRANSMISSÃO	CONTROLE DE ACESSO	Nº MÁXIMO DE ESTAÇÕES	ALCANCE	TIPO DE FIBRA	JANELA DE TRANSMISSÃO	DISPOSITIVO EMISSOR	FOTODETETOR
FIBERNET [12]	Borrimento Estrela Passivo	150 Mbps	CSMA-CD Distribuído	19	0,5 Km	Índice gradual 400 MHz.km Núcleo 62,5µm	0,85 µm	LASER	APD
MSDS [13]	a) Borrimento Linear Passivo b) Borrimento Estrela Passivo	140 Mbps	TDM	a) 8 b) 16	1 Km	-	-	-	-
CODENET [31]	Borrimento Estrela Passivo	34 Mbps	CSMA-CD Distribuído	8 ( > 200 ) <sup>1</sup>	2,8 Km	Índice gradual Núcleo 100µm	0,85-1,3µm	LED	PIN
DBMS [35]	Borrimento Estrela Passivo	100 Mbps	TDMA	16	2 Km	Índice gradual núcleo 50µm	0,82 µm	LASER	APD
FIBERNET II [26]	Borrimento Estrela Ativo	10 Mbps	CSMA-CD Centralizado	25 ( > 200 ) <sup>1</sup>	2,5 Km	Índice degrau núcleo 100µm	-	LED	PIN
WASEDA-NET [29]	Borrimento Estrela Ativo	-	Passagem de Ficha	-	-	-	-	-	-
HUBNET [37]	Estrela	50 Mbps	"Hub"	≥ 1000	Aberto	-	-	-	-
FIPNET [32]	Anel	10 Mbps	TDM e Ficha cobrada	-	1 Km (10Km) <sup>2</sup>	Índice degrau 25 MHz.km	0,83 µm	LED	PIN
CBC OPTONET [28]	Anel	32 Mbps	Passagem de Ficha	126	2 Km (100Km) <sup>2</sup>	Índice gradual núcleo 50µm	0,85 µm	LED	PIN
SIGMA [22]	Anel	32 Mbps	TDM	64 ( > 1000 ) <sup>1</sup>	2 Km	Índice gradual	0,83 µm	LED	PIN
RIPS-NET [24]	Anel	16,9 Mbps	TDM	36 ( > 1000 ) <sup>1</sup>	3,5 Km	Índice gradual	0,83 µm	LED	APD
SHIMIZU-NET [33]	Anel	400 Mbps	TDM/ Polling	125	15 Km) <sup>2</sup>	-	-	-	-
D-NET [50]	Varias	100 Mbps	Locomotivo	-	-	-	-	-	-
ALBANESE-NET [52]	Borrimento Bidirecional	a) 16 Mbps b) 100 Mbps	WDM/TDMA Polling	13	-	-	a) 0,8 µm b) 1,3 µm	LASER	APD

OBSERVAÇÕES

1 - NÚMERO DE ESTAÇÕES COM EXPANSÃO ATRAVÉS DE

MULTI-PLEXADORES E CONFIGURAÇÕES MULTI-ANEL

2 - COMPRIMENTO TOTAL DO ANEL

## CONCLUSÕES

As fibras óticas com suas excelentes qualidades de transmissão tem motivado o desenvolvimento de redes locais com fibras óticas atendendo novos serviços e aplicações. Em particular, redes locais integradas e sistemas de controle distribuído em tempo real constituem importantes tendências na associação das fibras óticas à tecnologia de redes locais. O estágio atual de desenvolvimento da tecnologia de fibras óticas impõe restrições às estruturas usuais de redes locais. Considerações quanto ao número de estações e alcance da rede favorecem, atualmente, a implantação de redes locais com fibras óticas em configurações ativas do tipo anel ou híbridas (anel-estrela, barramento-estrela). Por outro lado, as características de tráfego dos novos serviços e aplicações permitidas pelas altas taxas de transmissão da fibra sugerem técnicas de compartilhamento do meio de transmissão melhor adaptadas.

A crescente evolução da tecnologia de fibras óticas aliada às novas necessidades de comunicação em ambientes locais permitem se esperar um desenvolvimento acentuado de redes locais com fibras óticas num futuro próximo.

## AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos ao Eng<sup>o</sup> Sérgio Rauen, do CEPTEL, pelas informações e sugestões recebidas ao longo do trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

- | 1| Giallorenzi, T.G., "Optical Communications Research and Technology: Fiber Optics", Proc. IEEE, vol. 66, Nº 7, julho, 1978.
- | 2| Personik, S.D. et al., "Contrasting fiber-optic-component-design requirements in telecommunications, analog, and local data communications applications", Proc. IEEE, novembro, 1980.
- | 3| Miller, S.E., "Special issue on optical-fiber communications", Proc. IEEE, vol. 68, outubro, 1980.
- | 4| Li, T., "Advances in Optical Fiber Communications: An Historical Perspective", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-1, Nº 3, abril, 1983.
- | 5| Giozza, W.F., "Dispositivos em Comunicações por Fibras Óticas", pub. interna, GRC/UFPb, agosto, 1983.
- | 6| Personik, S.D., "Review of Fundamentals of Optical Fiber Systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-1, Nº 3, abril, 1983.
- | 7| Clark, D.D. et al., "An Introduction to Local Area Networks", Proc. IEEE, novembro, 1978.
- | 8| Penney, B.K. e Baghdadi, A.A., "Survey of Computer Communications Loop Networks: Part 1 and Part 2", Computer Communications, part 1: vol. 2, Nº 4, pp. 165-180, agosto  
part 2: vol. 2, Nº 5, pp. 224-241, outubro, 1979.
- | 9| Tannenbaum, A.S., "Computer Networks", Prentice-Hall, 1981.
- | 10| IEEE Project 802 "Local Area Network Standards", dezembro, 1982.
- | 11| Graube, M., "Local Area Nets: a Pair of Standards", IEEE Spectrum, junho, 1982.
- | 12| Rawson, E.G. e Metcalfe, R.M., "Fibernet: Multimode Optical Fibers for Local Computer Networks", IEEE Trans. Commun., julho, 1978.
- | 13| Aaron, G. et al., "A Medium Scale Distributed System (MSDS)", Proc. of IOS Workshop, Versalhes, França, novembro, 1979.

- [14] Personik, S.D., "Optical Fiber Transmission Systems", Plenum Press, 1981.
- [15] Personik, S.D., "Receiver Design for Digital Fiber Optic Communication Systems, Part I and II", BSTJ, vol. 52, Nº 6, julho-agosto, 1973.
- [16] Le Croy, "Digital Fiberoptic Link with Automatic Threshold Control", nota técnica, janeiro, 1982.
- [17] Giozza, W.F. e Noguez, G., "Fiber Optics Polyvalent Local Network", Proc. Euromicro 81, North-Holland Pub. Co., pp. 83-89, 1981.
- [18] Rauen, S., "Projeto de Multiplexadores e Demultiplexadores em Comprimento de Onda", anais do 1º Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (1º SBT), vol. 1, Rio de Janeiro, setembro, 1983.
- [19] Costa, J.M.L. et al., "Fibras Ópticas: Desenvolvimento de uma tecnologia brasileira", Revista Telebrás, março, 1983.
- [20] Bordeaux Rego, A.C.G., "Recentes Desenvolvimentos em Dispositivos Optoeletrônicos Aplicados a Comunicações Ópticas", anais do 1º SBT, vol. 1, Rio de Janeiro, setembro, 1983.
- [21] Rauen, S., "Acoplador Estrela para Redes Locais de Comunicação via Fibra Ótica", anais do 1º SBT, vol. 1, Rio de Janeiro, setembro, 1983.
- [22] Hiyama, K. et al., "Sigma Network - An Integrated Services Optical Fiber Loop Network", ICC 83, Boston, junho, 1983.
- [23] Capel, A.C. et al., "A Distributed Local Area Network Using Non-Contention Protocols", Proc. Computer Networking Symposium, dezembro, 1981.
- [24] Yada, K. et al., "The Large Scale Integrated Service Local Network Using Optical Fiber Data Highway", Proc. Computer Networking Symposium, dezembro, 1981.
- [25] Rauen, S. e Brooking, L., "Sistema Experimental com Fibras Óticas para Supervisão e Controle em Subestações", VII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Grupo VIII, Brasília, 1982.

- [26] Rawson, E.G. e Schmidt, R.V., "Fibernet II: An Ethernet-Compatible Fiber Optic Local Area Network", LAN 82, Los Angeles, 1982.
- [27] Yada, K. et al., "Design, Installation and Operation of RIPS-NET", COMPCON FALL 82, Washington, setembro, 1982.
- [28] Ikuta, H. et al., "Role of Optical Fiber Loop in C & C OPTONET, COMPCON FALL 82, Washington, setembro, 1982.
- [29] Tominaga, H. et al., "A Network Architecture with Distributed Switching Function for Optical Fiber Links", COMPCON FALL 82, Washington, setembro, 1982.
- [30] Motobayashi, S. et al., "HINET: An Optically Linked High Speed Computer Network, COMPCON FALL 82, Washington, setembro, 1982.
- [31] Jones, J.R. et al., "A Prototype CSMA/CD Local Network Using Fiber Optics", LAN 82, Los Angeles, 1982.
- [32] Giozza, W.F. e Noguez, G., "FIPNET: A 10 Mbps Fiber Optics Local Network", Computer Communication Review, vol. 12, Nº 2, pp. 6-20, abril, 1982.
- [33] Shimizu, H., "A Synchronously Triggered Packet Loop for Wideband and Multiple Services Communications", GLOBECON 83, San Diego-CA, novembro, 1983.
- [34] Tominaga, H. et al., "Token Around Time Sharing Protocol for Star Network Topology with Optical Fiber", GLOBECON 83, San Diego-CA, novembro, 1983.
- [35] Porter, D.R. et al., "High Speed Fiber Optic Data for Local Data Communications", GLOBECON 82, Miami, novembro, 1982.
- [36] Finley, M.R., "Optical Fibers in Local Area Networks", IFOC Handbook and Buyers Guide, 1983/1984.
- [37] Lee, E.S. e Boulton, P.I.P., "Hubnet: A 50 Mb/s Glass Fiber Local Area Network", IFIP 83, Paris, junho, 1983.
- [38] Wilkes, M.V. e Wheeler, D.J., "The Cambridge Digital Communication Ring", Proc. of the LACN Symposium, pp. 47-60, maio, 1979.
- [39] Metcalfe, R.M. e Boggs, D.R., "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks", Commun. of the ACM, pp. 395-404, julho, 1976.

- [40] Rhodes, N.L., "Interaction of Network Design and Fiber Optic Component Design in Local Area Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-1, Nº 3, abril, 1983.
- [41] Junker, S.L. e Noller, W.E., "Digital Private Branch Exchanges", IEEE Commun. Mag., vol. 21, Nº 3, maio, 1983.
- [42] Baxter, L.A. e Baugh, C.R., "A Comparison of Architectural Alternatives for Local Voice/Data Communications", IEEE Commun. Mag., vol. 20, Nº 1, janeiro, 1982.
- [43] Hara, E.H., "A Fiber Optic LAN/OCS Using a Broadband Switch", GLOBECON 82, Miami, novembro, 1982.
- [44] Kreutzer, H.W. e Saniter, J., "Long Time Operation of the HHI Service Integrated Optical Broadband Communication System-Results and Review", GLOBECON 83, San Diego-CA, novembro, 1983.
- [45] Taylor, D.P. et al., "The Limit-switched Loop: A Phase-locked Loop for burst mode Operation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-30, fevereiro, 1982.
- [46] Meyr, H. et al. "Synchronization Failures in a Chain of Repeaters", GLOBECON 82, Miami, novembro, 1982.
- [47] Meyr, H. et al., "Synchronization Design Criteria for a Token Ring", GLOBECON 83, San Diego-CA, novembro, 1983.
- [48] Bux, W., "Local-area Subnetworks: A Performance Comparison", IEEE Trans. Commun., vol. COM-29, outubro, 1981.
- [49] Moura, J.A.B. e Sauv e, J.P., "Avalia o de Desempenho de Sub-Redes de Dados Locais", Anais do 1  Simp sio Brasileiro sobre Redes de Computadores, Porto Alegre, maio, 1983.
- [50] Tseng, C. e Chen, B., "D-Net: A New Scheme for High Data Rate Optical Local Area Networks", Globecon 82, Miami, novembro, 1982.
- [51] Alonso, A.O. et al., "Redu o da Taxa de Bits para Transmiss o do Sinal de TV Composto PAL-M", Anais do 1  SBT, Rio de Janeiro, setembro, 1983.
- [52] Albanese, A. e Kasper, B.L., "Bidirectional Lightwave Bus", Globecon 82, Miami, novembro, 1982.