

Quais são as fibras ópticas utilizadas em redes PON, suas especificações, características e padronização?

Paulo S. Marin

Doutor em EMI/EMC, especialista em infraestrutura de TI

Coordenador da CE 003:046.005 ABNT/Cobei

(Artigo publicado na revista RTI, Ano XXV, N^o 290, julho/2024 – Interface)

Parte 1

Em sistemas de cabeamento estruturado em edifícios comerciais (isso também se aplica a outros ambientes de instalação), é comum lidarmos com fibras ópticas no subsistema de cabeamento de backbone e cabos balanceados de cobre, no horizontal.

Nesses sistemas, os cabos ópticos utilizados são, quase em 100% das instalações, de fibras ópticas multimodo, classificadas como OMx, onde x se refere à categoria da fibra. As classificações OM1 a OM5 abordam as fibras ópticas multimodo com características descritas na norma IEC 60793-2-10 e especificadas para sistemas de cabeamento estruturado, conforme apresentado na Tabela 1, que traz suas larguras de banda correspondentes, conforme a ABNT NBR 14565:2019 (cabeamento estruturado para edifícios comerciais).

Tabela 1 – Especificações de largura de banda modal de fibras multimodo

Categoria	Núcleo (µm)	Largura de banda modal mínima MHz x km				
		Largura de banda com preenchimento total do núcleo			Largura de banda modal efetiva	
		850 nm	953 nm	1300 nm	850 nm	953 nm
OM1	62,5	200	N/A	500	N/A	N/A
OM2	50	500	N/A	500	NA	N/A
OM3	50	1500	N/A	500	2000	N/A
OM4	50	3500	N/A	500	4700	N/A
OM5	50	3500	1850	500	4700	2470

O termo *largura de banda modal*, que se aplica, obviamente, às fibras ópticas multimodo, está associado à largura de banda disponível nesse meio físico para diferentes modos (ou caminhos de transmissão), lembrando que o termo *modo*, significa caminho. Portanto, dentro do núcleo de uma fibra multimodo há diversos caminhos por meio dos quais sinais luminosos podem se propagar. Cada caminho, entretanto, oferece suas próprias características de propagação.

Podemos entender a largura de banda modal, como o equivalente à largura de banda elétrica. Dito isto, uma fibra óptica multimodo que oferece uma largura de banda modal de, por

exemplo, 4700 MHz.km (lê-se megahertz vezes quilômetro) é capaz de oferecer uma largura de banda elétrica equivalente de 4700 MHz em 1 km de comprimento de cabo. Esta é a largura de banda efetiva das fibras OM3 e OM4 no comprimento de onda de 850 nm.

De forma análoga, para um comprimento de 2 km esta mesma fibra terá a capacidade de oferecer uma largura de banda equivalente de 2350 MHz. Essa relação com a largura de banda elétrica é importante porque a eletrônica utilizada em sistemas ópticos converte sinais de natureza elétrica em pulsos ópticos para a transmissão em fibras ópticas.

Conforme mostrado na Tabela 1, a principal diferença prática entre uma fibra OM4 e uma fibra OM5, é que esta oferece a capacidade de operar sistemas que utilizam multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM, wavelength-division multiplexing) na faixa de 850 nm a 953 nm.

A ABNT NBR 14565:2019 especifica o uso de fibras monomodo OS1 e OS2 no cabeamento estruturado, cujas classificações são especificadas na norma IEC 60793-2-50. A fibra OS1, especificada em B.1.1 da norma em referência, não tem especificação de atenuação no comprimento de onda de 1383 nm. As fibras especificadas como OS1a e OS2, em conformidade com as especificações B.1.3 e B.6 da IEC 60793-2-50, são para uso interno e externo, respectivamente. A Tabela 2 apresenta as características de atenuação dessas fibras ópticas.

Tabela 2 – Características de atenuação das fibras ópticas OS1a e OS2

Parâmetro	Coeficiente de atenuação máximo (dB/km)					
	Categorias de fibras monomodo					
	OS1a			OS2		
Comprimento de onda (nm)	1310	1383	1550	1310	1383	1550
Atenuação (dB/km)	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	0,4

Quando nos referimos às especificações de desempenho de fibras ópticas para redes PON, que operam com fibras monomodo, não é comum utilizarmos a terminologia da IEC. Nesse ambiente, utilizamos as recomendações do ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector) para fibras ópticas monomodo.

Conforme discutido nas últimas edições de Interface, conhecemos algumas tecnologias de redes PON, como o padrão PON (G.983.1), GPON (G.984.1), XG-PON (G.987.1) e NG-PON2 (G.989.1). A recomendação de fibra óptica do ITU-T para todos esses padrões PON é a “Recomendação G.652”.

Essa recomendação descreve os atributos geométricos, mecânicos e de transmissão de cabos ópticos com fibras monomodo com dispersão zero no comprimento de onda de 1310 nm. As

fibras que atendem à essa recomendação do ITU-T foram originalmente otimizadas para uso na região do comprimento de onda de 1310 nm, mas podem operar na região de 1550 nm.

A Recomendação G.652:2016 é a mais atual desde sua publicação inicial em 1984 e descreve fibras ópticas monomodo de alto desempenho de transmissão. Essa recomendação tem quatro categorias de fibras monomodo: G.652.A, G.652.B, G.652.C e G.652.D. Todas as categorias de fibras G.652 têm um núcleo com diâmetro entre 8 µm e 10 µm. As fibras OS2 são geralmente de categorias G.652.C ou G.652.D. As demais categorias são menos utilizadas atualmente em redes ópticas passivas.

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre as diferentes categorias de fibras ópticas G.652.

Tabela 3 – Especificações das fibras ITU-T G.652 por categoria

Categoria da fibra	Coefficiente de atenuação (dB/km)	PMD (ps/km²)	Perda óptica em macro curvatura (dB), raio de 30 mm	MFD (µm)
G.652.A	0,5 em 1310 nm 0,4 em 1550 nm	< 0,5	0,1 em 1550 nm	8,6 (mín.) 9,5 (máx.)
G.652.B	0,4 em 1310 nm 0,35 em 1550 nm 0,4 em 1625 nm	< 0,2	0,1 em 1625 nm	
G.652.C	< 0,4 entre 1310 e 1625 nm	< 0,5		
G.652.D	< 0,3 entre 1550 e 1383 nm	< 0,2		

O parâmetro dispersão de modo de polarização (PMD, polarization mode dispersion) é a diferença em tempo na recepção de diferentes componentes de um pulso de luz transmitido por uma fibra óptica. Esse pulso de luz pode ser decomposto em pares de modos de polarização ortogonal. Essa diferença nos tempos de propagação de pulsos de luz pelo núcleo da fibra ocorre devido ao processo de fabricação da fibra, falha de concentricidade e homogeneidade do núcleo, assim como de fatores externos como dobras, torções, etc.

O parâmetro diâmetro de campo modal (MFD, modal field diameter) é importante porque, como uma medida do tamanho do próprio campo óptico, permite que o projeto do sistema óptico maximize o modo de transmissão da fonte com o da fibra, maximizando a eficiência de lançamento. O MFD é determinado pela abertura numérica (NA) e pelo comprimento de onda

de corte da fibra e está relacionado ao diâmetro do núcleo da fibra. Em geral, o MFD é maior que o diâmetro físico do núcleo da fibra; isso significa que alguma potência do pulso óptico é sempre guiada pela casca da fibra óptica.

Conforme apresentado na Tabela 3, há algumas características comuns de resposta entre todas as quatro categorias de fibras G.652 e algumas diferenças também.

A principal diferença, não evidenciada na Tabela 3, é que a fibra G.652.D elimina o pico d'água para operação em espectro completo. As fibras G.652.A e G.652.B convencionais não são otimizados para aplicações de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM) devido à alta atenuação na região da banda E (1360-1460 nm), que é a banda de pico d'água.

Portanto, a fibra G.652.D foi desenvolvida para reduzir especificamente o pico d'água na faixa de comprimento de onda de 1383 nm, de modo que o cabo óptico G.652.D pode ser usado nas regiões de comprimento de onda de 1310 nm e 1550 nm e suporta transmissão CWDM (coarse wavelength-division multiplexing). O termo "coarse", nesse caso, refere-se ao espaçamento de comprimento de onda entre canais ópticos, cada um operando em um comprimento de onda próprio. A Figura 1 apresenta as características das fibras monomodo G.652, com destaque à categoria G.652.D, zero pico d'água.

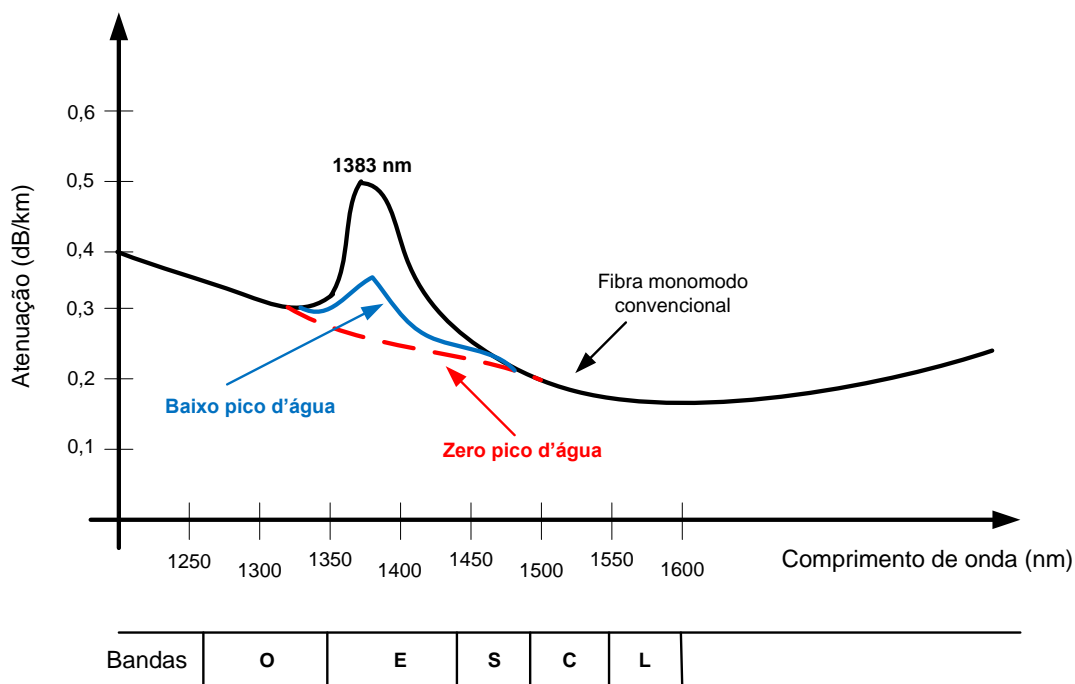


Figura 1 – Características das fibras G.652, com ênfase na G.652.D (zero pico d'água)

Portanto, o ITU-T, que especifica os padrões das redes PON (passive optical network), especifica também as características das fibras ópticas a serem utilizadas para a implementação da infraestrutura óptica por meio de recomendações próprias. Nesta edição

de Interface, aprendemos sobre a “Recomendação G.652” do ITU-T, que define quatro categorias, de G.652.A a G.652.D e suas principais características.

Vimos também que a “Recomendação G.652” atende aos requisitos de meio físico das tecnologias PON, GPON, XG-PON e NG-PON2.

Na próxima edição, vamos conhecer as especificações do ITU-T para as fibras ópticas monomodo capazes de garantir desempenho ótimo em condições em que as fibras são submetidas a condições com dobras muito acentuadas, ou seja, com macro curvaturas menores em relação àquela suportada pelas fibras G.652.