



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0903197-9 B1



(22) Data do Depósito: 05/05/2009

(45) Data de Concessão: 24/12/2019

(54) **Título:** FIBRA ÓTICA MONOMODO, CAIXA ÓTICA, E SISTEMA DE FIBRA ÓTICA PARA A RESIDÊNCIA DO ASSINANTE (FTTH)

(51) **Int.Cl.:** G02B 6/02.

(30) **Prioridade Unionista:** 06/05/2008 FR 08 02503; 06/11/2008 US 61/112,006; 07/11/2008 US 61/112,374; 30/09/2008 US 61/101,337.

(73) **Titular(es):** DRAKA COMTEQ B.V..

(72) **Inventor(es):** LOUIS-ANNE DE MONTMORILLON; SIMON RICHARD; DENIS MOLIN; MARIANNE BIGOT-ASTRUC; PIERRE SILLARD; DAVID BOVIN.

(57) **Resumo:** FIBRA ÓTICA MONOMODO. A presente invenção refere-se a uma fibra ótica monomodo que inclui, a partir do centro para a periferia, um núcleo central, uma casca intermediária, uma depressão e uma casca ótica externa. O núcleo central tem um raio $r_{1\sim}$ e uma diferença de índice positiva $30>n_{1\sim}$ com a casca ótica; a casca intermediária tem um raio $r_{2\sim}$ e uma diferença de índice positiva $30>n_{2\sim}$ com a casca ótica, em que $30>n_{2\sim}$ é menor do que a diferença de índice $30>n_{1\sim}$ do núcleo. A depressão tem um raio $r_{3\sim}$ e uma diferença de índice negativa $30>n_{3\sim}$ com a casca ótica. A fibra ótica tem um diâmetro do campo modal (MFD) entre 8,6 μm e 9,5 μm em um comprimento de onda de 1310 nanômetros, e para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, a fibra tem perdas por curvatura menores do que $0,15 \times 10^{-3}$ dB/ curva para um raio de curvatura de 5 milímetros e um comprimento de onda de corte do cabo de menos do que ou igual a 1260 nanômetros, medido como o comprimento de onda em que a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB após a propagação através de vinte de dois metros de fibra. Essa (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "Patente de Invenção: **FIBRA ÓTICA MONOMODO, CAIXA ÓTICA, E SISTEMA DE FIBRA ÓTICA PARA A RESIDÊNCIA DO ASSINANTE (FTTH)**"

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção se refere-se ao campo de transmissões de fibras óticas e, mais especificamente, a uma fibra tendo perdas por curvatura grandemente reduzidas.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Para fibras óticas, o perfil do índice de refração é apresentado, em geral, em termos da diferença em valor entre dois pontos no gráfico da função associando o índice de refração com o raio da fibra. Convencionalmente, a distância r até o centro da fibra é mostrada ao longo do eixo de x do perfil. A diferença entre o índice de refração na distância r e o índice de refração da casca externa da fibra é mostrada ao longo do eixo de y (figura 2, referências 21 - 24). A casca externa funciona como uma casca ótica e tem um índice de refração substancialmente constante; essa casca ótica é composta, em geral, de sílica pura, mas também pode conter um ou mais dopantes. O perfil de índice de refração de fibra ótica é referido como um perfil em "degrau", um perfil "trapezoidal ou um perfil "triangular" para gráficos tendo as respectivas formas de um degrau, um trapézio ou um triângulo. Essas curvas, em geral, são representativas do perfil do índice de refração teórico ou de referência (isto é, perfil estabelecido) da fibra. As restrições de fabricação de fibra podem levar a um perfil ligeiramente diferente na fibra real.

Uma fibra ótica é composta, convencionalmente, de (i) um núcleo ótico, tendo a função de transmitir e, opcionalmente, amplificar um sinal ótico; e (ii) uma casca ótica, tendo a função de confinar o sinal ótico no núcleo. Com essa finalidade, os índices de refração do núcleo (n_c) e da casca (n_g) são tais que $n_c > n_g$. Como é bem conhecido na técnica, a propagação de um sinal ótico em uma fibra ótica monomodo é repartida em um modo fundamental (conhecido como LPO1) guiado no núcleo e em modos secundários guiados através de um certo raio no conjunto núcleo - casca.

De modo convencional, fibras de índice degrau, também cha-

madras fibras SMF ("Fibras Monomodo") são usadas como fibras de linha para sistemas de transmissão de fibra ótica. Essas fibras mostram uma dispersão cromática e uma inclinação de dispersão cromática correspondendo a recomendações de telecomunicações específicas.

5 Para as exigências de compatibilidade entre os sistemas óticos de diferentes fabricantes, a International Telecommunication Union (ITU) definiu um padrão com uma norma, referenciada ITU-T G.652, que deve ser satisfeita por uma Standard Single Mode Fiber (SSMF - Fibra Monomodo Padrão).

10 Essa recomendação G.652 para fibras de transmissão recomenda *inter alia* uma faixa de 8,6 microns a 9,5 microns para o Mode Field Diameter (MFD - Diâmetro de Campo Modal) em um comprimento de onda de 1310 nanômetros, que pode variar com $\pm 0,4 \mu\text{m}$ devido às tolerâncias de fabricação; um máximo de 1260 nanômetros para o comprimento de onda de corte do cabo; uma faixa de 1300 nanômetros a 1324 nanômetros para o comprimento de onda de cancelamento de dispersão (denotado λ_0); e uma inclinação de dispersão cromática máxima de $0,092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ (isto é, $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$).

20 O comprimento de onda de corte do cabo é medido, convencionalmente, como o comprimento de onda em que o sinal ótico não é mais de modo único após a propagação através de 22 metros de fibra, tal como definido por Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44.

25 Na maioria dos casos, o modo secundário mais resistente às perdas por curvatura é o modo LP11. O comprimento de onda de corte do cabo é, portanto, o comprimento de onda além do qual o modo LP11 é enfraquecido, suficientemente, após propagação através de 22 metros de fibra. O método proposto pelo padrão envolve a consideração de que o sinal ótico é de modo único quando a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB.

30 Além disso, para uma dada fibra, um chamado valor MAC é definido como a relação do diâmetro do campo modal da fibra em 1550 nanô-

metros sobre o comprimento de onda de corte efetivo λ_{ceff} . O comprimento de onda de corte é medido, convencionalmente, como o comprimento de onda em que o sinal ótico não é mais de modo simples após a propagação através de dois metros de fibra, como definido por Subcommittee 86A da

5 International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44. O MAC constitui um parâmetro para avaliar os desempenhos da fibra, em particular para descobrir um compromisso entre o diâmetro do campo modal, o comprimento de onda de corte efetivo e as perdas por curvatura.

O pedido de patente europeu Nº 1.845.399 e pedido de patente

10 europeu Nº 1.785.754 ilustram os resultados experimentais do Requerente. Esses pedidos anteriores estabelecem uma relação entre o valor do MAC em um comprimento de onda de 1550 nanômetros e as perdas por curvatura em um comprimento de onda de 1625 nanômetros com um raio de curvatura de 15 milímetros em uma SSMF de fibra de índice degrau padrão. Cada um

15 desses pedidos de patente europeus é aqui incorporado através de referência em sua totalidade. Além disso, cada pedido estabelece que o valor do MAC influencia as perdas por curvatura da fibra e que a redução do MAC reduz essas perdas por curvatura. A redução do diâmetro do campo modal e/ou aumento do comprimento de onda de corte efetivo reduz o valor de

20 MAC, mas pode levar à não concordância com o padrão G.652, tornando a fibra comercialmente incompatível com alguns sistemas de transmissão.

A redução das perdas por curvatura, ao mesmo tempo em que se mantêm certos parâmetros de transmissão ótica constitui um desafio para aplicações de fibras destinadas aos sistemas de fibras óticas para o usuário,

25 chamadas FTTH para *Fiber-To-The-Home*.

A International Telecommunications Union ITU também definiu recomendações referenciadas ITU-T G.657A e ITU-T G.657B, que devem ser satisfeitas pelas fibras óticas destinadas às aplicações de FTTH, particularmente em termos de resistência às perdas por curvatura. A recomendação

30 G.657A impõe limites sobre os valores para perdas por curvatura, mas busca, acima de tudo, preservar a compatibilidade com a recomendação G.652, particularmente em termos de diâmetro do campo modal MFD e dis-

persão cromática. Por outro lado, a recomendação G.657B impõe limites estritos para as perdas por curvatura, particularmente para (i) perdas por curvatura menores do que 0,003 dB/ volta em um comprimento de onda de 1550 nanômetros para um raio de curvatura de 15 milímetros e (ii) perdas por curvatura menores do que 0,01 dB/ volta, em um comprimento de onda e 1625 nanômetros para um raio de curvatura de 15 milímetros.

O pedido de patente europeu N° 1.845.399 e o pedido de patente europeu N° 1.785.754 propõem perfis de fibras tendo perdas por curvatura limitadas, correspondendo, em particular, aos critérios das recomendações G.657A e G.657B. Os perfis descritos nesses pedidos de patente europeus, porém, tornam possível obter apenas os limites de perdas por curvatura impostos pela recomendação G.657B.

A patente norte-americana N° 7.164.835 e a Publicação de Pedido de Patente N° 2007/0147 756, cada uma das quais é aqui incorporada através de referência em sua totalidade, também descrevem perfis de fibras mostrando perdas por curvatura limitadas. As fibras dessas patentes norte-americanas, contudo, correspondem apenas aos critérios das recomendações G.657A e G.657B, particularmente em termos de diâmetro do campo modal e dispersão cromática.

No presente, para certas aplicações, a redução das perdas por curvatura é essencial, especialmente quando a fibra é destinada a ser grampeada ou enrolada em uma caixa ótica miniaturizada.

A tecnologia da fibra auxiliada por furo torna possível obter excelentes desempenhos em termos de perdas por curvatura, mas essa tecnologia é complexa e cara para implementar e não pode ser usada para fibras destinadas aos sistemas de FTTH, que são sistemas de baixo custo.

O requerente comercializa uma fibra insensível à cobertura tendo uma boa resistência às perdas por curvatura sob a marca de comércio e indústria BendBright-XS. Essa faixa de fibras está completamente em conformidade com as recomendações G.652 e G.657B ITU-T e apresenta perdas por curvatura típicas de 0,3 dB/ curva em raio de curvatura de 5 mm, em 1550 nm. Portanto, existe uma necessidade de uma fibra ótica tendo uma

resistência às perdas por curvatura, que seja claramente melhor para o raio de curvatura de 5 mm do que o nível típico da fibra comercializada citada acima. A fibra que satisfaz esse critério deve também permanecer compatível com a recomendação G.652 em termos de perfil de transmissão e, em particular, diâmetro do campo modal. Esse aperfeiçoamento apreciável de perdas por curvatura pode ser obtido em detrimento de um comprimento de onda de corte mais alto, desde que (i) o modo LP11 de ordem diretamente mais alta seja atenuado suficientemente; e (ii) que o comprimento de fibra requerido para a atenuação do modo LP11 para alcançar 19,3 dB em um comprimento de onda de 1260 nanômetros é menor do que 22 metros, assim, assegurando comprimento de onda de corte de cabo menor ou igual a 1260 nm. A fibra satisfazendo esse critério deve também satisfazer a recomendação G.657B.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Para os fins descritos acima, a invenção inclui uma fibra com um núcleo central, uma casca intermediária e uma depressão circundada por uma casca ótica externa. O perfil do índice de refração é otimizado para aperfeiçoar as perdas por curvatura por um fator de dez em relação às restrições impostas pelo padrão G.657B, ao mesmo tempo em que mantém um diâmetro do campo modal compatível com o padrão G.652 e que assegura uma atenuação suficiente do modo LP11.

Em particular, a superfície do núcleo, bem como a superfície e o volume da depressão, são otimizados para aperfeiçoar as perdas por curvatura, consideravelmente. No contexto da invenção, a superfície do núcleo ou a superfície da depressão não devem se estender geometricamente, mas devem corresponder a valores que levam em conta duas dimensões - o produto do raio e a diferença de índice. Similarmente, o volume da depressão corresponde a um valor levando em conta três dimensões - o produto do quadrado do raio e a diferença de índice.

A invenção propõe, mais particularmente, uma fibra ótica monomodo, incluindo, do centro até a periferia, um núcleo central, uma casca intermediária, uma depressão e uma casca ótica externa. O núcleo

central tem um raio r_1 e uma diferença de índice positiva Δn_1 com a casca ótica externa. A casca intermediária tem um raio r_2 e uma diferença de índice positiva Δn_2 com a casca ótica externa. A diferença Δn_2 é menor do que a diferença de índice Δn_1 do núcleo. A depressão tem um raio r_3 e uma diferença de índice negativa Δn_3 com a casca ótica externa. A fibra da presente invenção é ainda caracterizada pelo fato de ter (i) um diâmetro do campo modal (MFD) entre $8,6 \mu\text{m}$ e $9,5 \mu\text{m}$ em um comprimento de onda de 1310 nanômetros; e (ii) perdas por curvatura menores do que $0,15 \times 10^{-3}$ dB/vez para um raio de curvatura de 5 milímetros em um comprimento de onda de 1550 nanômetros e um comprimento de onda de corte do cabo de menos do que ou igual a 1260 nm, medido como o comprimento de onda em que a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a $19,3$ dB após a propagação através de vinte e dois metros de fibra, a fibra sendo condicionada reta ou condicionada em torno de um mandril de raio de curvatura de 140 mm.

De acordo com uma modalidade de uma fibra de acordo com a presente invenção, a integral de superfície do núcleo central (V_{01}), definida como

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r).dr \approx r_1 \times \Delta n_1,$$

está entre $19,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e, de preferência, entre $20,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$. Em uma outra modalidade preferida, a integral de superfície do núcleo central (V_{01}) está entre $20,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $21,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, uma vez que isso dá origem às propriedades óticas ótimas da presente fibra.

De acordo com uma modalidade de uma fibra de acordo com a presente invenção, a integral de superfície da depressão (V_{03}), definida como

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r).dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3,$$

está entre $-55,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $-30,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$. Em uma outra modalidade preferida, a integral de superfície da depressão V_{03} está entre $-42,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $-32,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, uma vez que isso dá origem às propriedades

ópticas ótimas da presente fibra.

De acordo com uma modalidade de uma fibra de acordo com a presente invenção, a integral de volume do fosso comprimido (V_{13}), definido como

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3,$$

5 está entre $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ e $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Em uma outra modalidade preferida, o volume integral do fosso comprimido (V_{13}) está entre $-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ e $750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, uma vez que isso dá origem às propriedades ópticas ótimas da presente fibra.

Em modalidades preferidas, a fibra tem propriedades físicas e parâmetros operacionais com resistência aperfeiçoada às perdas por curvatura. Por exemplo, a fibra tem um comprimento de onda de corte efetivo A_{ceff} maior do que 1300 nanômetros, o comprimento de onda de corte efetivo sendo medido como o comprimento de onda em que o sinal ótico se torna de modo único após propagação através de dois metros de fibra. A fibra tem, para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, perdas por curvatura menores do que ou igual a 0,003 dB/ curva para um raio de curvatura de 15 milímetros, perdas por curvatura menores do que ou iguais a 3×10^{-2} dB/ curva, de preferência, $7,5 \times 10^{-3}$ dB/ curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, perdas por curvatura menores do que ou igual a 0,05 dB/ curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros e perdas por curvatura menores do que 0,15 dB/ curva, de preferência, menos do que 0,10 dB/ curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

A fibra aqui divulgada também mostra perdas por curvatura reduzidas em comprimentos de onda mais altos. Por exemplo, em um comprimento de onda de 1625 nanômetros, a fibra tem perdas por curvatura menores do que 10^{-2} dB/ curva, de preferência, menos do que $1,5 \times 10^{-3}$ dB/ curva para um raio de curvatura de 15 milímetros, perdas por curvatura menores do que ou igual a 0,1 dB/curva, de preferência menor do que ou igual a 25×10^{-3} dB/curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, perdas por curvatura menores do que ou igual a 0,15 dB/curva, de preferência menor do que

ou igual a 0,08 dB/curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros e perdas por curvatura menores do que 0,25 dB/curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

Em consequência, em uma modalidade preferida, a fibra tem um comprimento de onda de corte entre 1240 nanômetros e 1310 nanômetros, com o comprimento de onda de corte medido como um comprimento de onda em que o sinal ótico não está mais no modo único após a propagação através de cinco metros de fibra. O comprimento de onda de corte é distinguido daquele do corte de cabo, medido como o comprimento de onda em que a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB após a propagação através de 22 metros de fibra. A fibra tem um comprimento de onda de corte do cabo menor do que ou igual a 1260 nanômetros.

Uma quarta definição de corte na presente questão é o comprimento de onda de corte teórico definido como o comprimento de onda do qual o modo LP11 é propagado no modo vazante. Em uma modalidade, a fibra tem um comprimento de onda de corte teórico menor do que ou igual a 1250 nanômetros. A fibra tem uma atenuação do modo LP11 maior do que 5 dB após propagação através de 22 metros de fibra em um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Os parâmetros operacionais descritos acima resultam de propriedades físicas preferidas da fibra. Em uma modalidade, o núcleo central da fibra tem um raio entre 3,8 μm e 4,35 μm ; a casca intermediária tem um raio entre 8,5 μm e 9,7 μm ; a depressão tem um raio entre 13,5 μm e 16 μm , que pode ser menor do que ou igual a 15 μm . O núcleo central tem uma diferença de índice de refração Δn_1 com a casca ótica externa entre $4,9 \times 10^{-3}$ e $5,7 \times 10^{-3}$.

Conforme notado acima, o perfil do índice de refração de uma fibra é plotado em termos da diferença entre valores de índice de refração em pontos no raio da fibra e da casca ótica externa. A casca intermediária tem uma diferença de índice com a casca ótica entre $-0,1 \times 10^{-3}$ e $0,6 \times 10^{-3}$. A depressão tem uma diferença de índice com a casca ótica entre $-10,0 \times 10^{-3}$ e $-5,0 \times 10^{-3}$. A fibra tem um comprimento de onda de dispersão cromá-

tica zero entre 1300 nanômetros e 1324 nanômetros; a fibra tem um valor de inclinação de dispersão cromática no comprimento de onda de dispersão cromática zero de menos do que $0,092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$.

5 A invenção também se refere a uma caixa ótica recebendo pelo menos uma porção da fibra aqui divulgada. Nessa caixa, a fibra pode ser disposta com um raio de curvatura menor do que 15 milímetros, que pode ser da ordem de 5 milímetros. A invenção também se refere a um sistema de fibra ótica para a casa do assinante (FTTH) compreendendo pelo menos uma porção de fibra de acordo com a invenção.

10 O precedente, bem como outras características e vantagens da presente invenção e a maneira em que as mesmas são realizadas, são ainda especificadas dentro da descrição detalhada a seguir e seus desenhos anexos.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

15 A figura 1 representa um corte transversal de uma fibra de modo simples com camadas de casca em respectivos raios que se estendem a partir do centro.

A figura 2 representa o perfil do índice de refração nominal da fibra monomodo exemplificativa da figura 1 de acordo com a presente inven-
20 ção.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A fibra 10 da invenção tem um núcleo central 11, uma casca intermediária 12 e uma casca em depressão 13. Para as presentes finalidades e sem limitar o escopo da invenção, casca em depressão significa uma
25 porção radial da fibra, tendo um índice de refração menor do que o índice da casca ótica externa 14. Tipicamente, o núcleo central 11, a casca intermediária 12 e a depressão 13 são obtidos por deposição química a vapor em um tubo de sílica. A casca ótica externa 14 inclui o tubo de sílica e a sobrecasca no tubo. Em modalidades preferidas, a sobrecasca, em geral, é
30 sílica natural ou dopada, mas também pode ser obtido por qualquer outra técnica de deposição (deposição axial a vapor) ("VAD") ou deposição a vapor externa ("OVD").

A figura 2 ilustra um perfil do índice de refração para a fibra de transmissão 10 da figura 1. O perfil da figura 2 é um perfil estabelecido, isto é, representativo do perfil teórico da fibra, mas a fibra realmente obtida após o puxamento da fibra a partir de uma pré-forma pode ter um perfil ligeiramente diferente.

De maneira conhecida na técnica por si, uma fibra ótica deve ser obtida através do puxamento a partir da pré-forma. À guisa de exemplo, a pré-forma pode ser um tubo de vidro de qualidade muito alta (sílica pura), que eventualmente faz parte da casca ótica externa 14. A casca ótica externa 14 circunda núcleo central 11 e as cascas internas 12, 13 da fibra 10. Esse tubo pode ser, então, revestido com sobrecasca para aumentar seu diâmetro antes de seguir através a operação de puxamento da fibra. Para a produção da pré-forma, o tubo, em geral, é montado horizontalmente e sustentado em ambas as extremidades por barras de vidro em um torno mecânico; então, o tubo é girado e aquecido localmente para o processo de deposição que determina a composição da pré-forma. Essa composição determina as características óticas da futura fibra.

A fibra inclui um grupo central 11, tendo uma diferença de índice Δn_1 com uma casca externa 14 funcionando como uma casca ótica. A fibra 10 ainda inclui uma casca intermediária 12 tendo uma diferença de índice Δn_2 com a casca ótica externa 14 e uma casca em depressão 13 tendo uma diferença de índice Δn_3 com a casca ótica externa 14. Os índices de refração no núcleo central 11, a casca intermediária 12 e a depressão 13 são substancialmente constantes por todas as suas respectivas larguras, conforme apresentado na figura 2. A figura 1 ilustra que a largura do núcleo 11 é definida por seu raio r_1 e a largura das cascas por seus respectivos raios externos r_2 e r_3 . A casca ótica externa é denotada como r_4 .

A fim de definir um perfil de índice de refração estabelecido para uma fibra ótica, o valor de índice de refração da casca ótica externa é, em geral, tomado como uma referência n_0 . Os valores de índice do núcleo central 11, da casca intermediária 12 e da casca em depressão comprimido 13 são, então, apresentados na figura 2 como diferenças de índice $\Delta n_{1,2,3}$. De

um modo geral, a casca ótica externa 14 é composta de sílica, mas essa casca pode ser dopada para aumentar ou reduzir seu índice de refração, por exemplo, para modificar as características de propagação do sinal.

Cada seção de perfil de fibra mostrado na figura 2 (21 - 24) também pode ser definida com base em integrais que ligam as variações de índice com o raio de cada seção da fibra 10. Desse modo, é possível definir três integrais de superfície para a fibra 10 da invenção, representativas da superfície do núcleo V_{01} , da superfície da casca intermediária V_{02} e da superfície da depressão V_{03} . A expressão "superfície" não deve ser compreendida geometricamente, mas corresponde a um valor levando em conta duas dimensões. Essas três integrais de superfície podem ser expressas como segue:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r).dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

$$V_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r).dr \approx (r_2 - r_1) \times \Delta n_2$$

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r).dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3 .$$

Similarmente, é possível definir três integrais de volume para a figura 10 da invenção, representativas do volume do núcleo V_{11} , do volume da casca intermediária V_{12} e do volume da depressão V_{13} . A expressão "Volume" não deve ser compreendida geometricamente, mas corresponde a um valor que leva em conta três dimensões. Essas três integrais de volume podem ser expressas como segue:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r).r.dr \approx r_1^2 \times \Delta n_1$$

$$V_{12} = 2 \cdot \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r).r.dr \approx (r_2^2 - r_1^2) \times \Delta n_2$$

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r).r.dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3 .$$

A Tabela I (abaixo) mostra 9 exemplos de perfis de fibras de acordo com as modalidades preferidas da invenção em comparação com três perfis de fibras SSMF e um perfil de fibra correspondente a padrões G.657A e G.657B (denotado como "BIF" para Bend Insensitive Fiber - Fibra insensível à curvatura). O requerente comercializa uma fibra é insensível à curvatura tendo uma boa resistência às perdas por curvatura sob a marca comercial BendBrightXS. Os valores nas tabelas correspondem aos perfis estabelecidos para cada fibra.

Todos os perfis também foram projetados para assegurar um nível de Multi Path Interference (MPI - Interferência de Multicurso) menor do que -30 dB, o que assegura uma compatibilidade completa com quaisquer redes de sistemas instaladas adequadamente, incluindo Access Network e Fiber to the Home. MPI é definido em W. Zheng e colaboradores, "Measurement and System Impact of Multipath Interference From Dispersion Compensating Fiber Modules", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, 53, pp15-23) e suas considerações sobre medições particulares, detalhadas em S. Ramachandran e colaboradores, "Measurement of Multipath Interference in the Coherent Crosstalk Regime", IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15, pp 1171-1173.

A primeira coluna da tabela 1 atribui uma referência para cada exemplo (Ex para Exemplo de acordo com a invenção e Ex C. para exemplos comparativos); as três colunas seguintes dão os valores correspondentes dos raios do núcleo 11, da casca intermediária 12 e da depressão 13, respectivamente. As três colunas seguintes dão os valores correspondentes das diferenças de índices de refração com a casca ótica externa 14. Os valores de índice de refração são medidos em um comprimento de onda de 633 nanômetros. A tabela 1 também mostra os valores da integral de superfície e da integral de volume do núcleo 11, da casca intermediária 12 e da depressão 13, conforme definido acima.

TABELA I

	r_1	r_2	r_3	Dn_1	Dn_2	Dn_3	V_{01}	V_{02}	V_{03}	V_{11}	V_{12}	V_{13}
	(μm)	(μm)	(μm)	[10^{-3}]	[10^{-3}]	[10^{-3}]	(μm) [10^{-3}]	(μm) [10^{-3}]	(μm) [10^{-3}]	(μm^2) [10^{-3}]	(μm^2) [10^{-3}]	(μm^2) [10^{-3}]
BIF	3,93	9,38	14,72	5,26	0,13	-5,01	20,7	0,7	-26,8	81,1	9,4	-645
SSMF1	4,35	13,92		5,00	-0,20		21,8	-1,9	0,0	94,6	-35,0	0
SSMF2	4,51	13,92		5,00	-0,20		22,5	-1,9	0,0	101,5	-34,7	0
SSMF3	4,55	13,92		5,24	-0,20		23,8	-1,9	0,0	108,4	-34,6	0
C.Ex1	3,82	9,01	13,55	5,67	0,57	-9,63	21,7	2,9	-43,7	82,8	37,7	-986
C.Ex2	3,96	8,61	13,86	5,58	0,31	-7,87	22,1	1,4	-41,3	87,6	17,9	-928
C.Ex3	3,92	8,78	13,84	5,55	0,32	-8,75	21,7	1,5	-44,3	85,2	19,7	-1002
C.Ex4	3,88	9,09	14,35	5,62	0,34	-7,84	21,8	1,8	-41,2	84,5	23,1	-965
C.Ex5	3,93	9,30	14,48	5,30	0,51	-7,76	20,8	2,7	-40,1	81,7	36,0	-955
C.Ex6	3,93	9,28	14,47	5,31	0,53	-7,51	20,9	2,8	-39,0	82,0	37,5	-926
C.Ex7	3,93	8,50	15,00	5,48	0,50	-5,00	21,5	2,3	-32,5	84,6	28,4	-764
C.Ex8	3,93	9,25	13,65	5,37	0,50	-9,90	21,1	2,7	-43,5	83,0	35,1	-997
C.Ex9	3,93	8,50	15,50	5,33	0,51	-5,00	21,0	2,3	-35,0	82,4	28,8	-840
C.Ex10	3,93	9,27	13,65	5,31	0,52	-9,80	20,9	2,8	-42,9	82,1	36,9	-983
C.Ex11	3,94	9,25	13,54	5,30	0,56	-9,87	20,9	3,0	-42,3	82,3	39,2	-964
C.Ex12	3,95	9,29	13,91	5,30	0,50	-8,93	20,9	2,7	-41,2	82,6	35,4	-957
C.Ex13	3,93	8,50	15,50	5,32	0,57	-5,00	20,9	2,6	-35,0	82,1	32,2	-840
Ex1	3,90	9,23	14,34	4,94	0,35	-7,15	19,3	1,9	-36,5	75,1	24,5	-861
Ex2	3,91	9,23	14,34	5,14	0,10	-7,15	20,1	0,5	-36,5	78,6	7,0	-861
Ex3	3,91	9,23	14,81	5,14	0,10	-7,15	20,1	0,5	-39,9	78,6	7,0	-959
Ex4	3,91	9,23	14,34	5,29	-0,06	-7,15	20,7	-0,3	-36,5	80,9	-4,2	-861
Ex5	3,91	9,23	14,81	5,29	-0,06	-7,15	20,7	-0,3	-39,9	80,9	-4,2	-959
Ex6	3,93	9,26	13,53	5,34	0,51	-9,74	21,0	2,7	-41,6	82,3	36,0	-949
Ex7	3,93	9,25	13,53	5,31	0,50	-9,93	20,8	2,7	-42,5	81,9	35,3	-967
Ex8	3,94	8,50	15,00	5,43	0,50	-5,00	21,4	2,3	-32,5	84,3	28,6	-764
Ex9	3,94	9,26	13,50	5,33	0,51	-9,88	21,0	2,7	-41,9	82,8	35,5	-954

A fibra 10 de acordo com a modalidade nas figuras 1 e 2 de acordo com a invenção é uma fibra de índice degrau compreendendo um núcleo central 11, uma casca intermediária 12 e uma depressão 13. Deve ser notado da tabela 1 que o núcleo central 11 tem um raio r_1 entre $3,8 \mu\text{m}$ e $4,35 \mu\text{m}$ e, de preferência, entre $3,8 \mu\text{m}$ e $4,05 \mu\text{m}$, isto é, mais estreito do que o núcleo de uma fibra SSMF. A fibra 10 tem uma diferença de índice Δn_{21} com a casca ótica externa 14 entre $4,9 \times 10^{-3}$ e $5,7 \times 10^{-3}$, isto é, da ordem de ou maior do que em uma fibra de SSMF. A integral de superfície do núcleo V_{01} está entre $19,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e a integral de volume do núcleo V_{11} está entre $75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ e $91 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

Deve ser notado também da tabela 1 que a fibra de acordo com a invenção tem uma depressão 13. A depressão 13 tem um grande volume e torna possível limitar grandemente as perdas por curvatura. A tabela 1, mostra assim que a depressão 13 tem um raio r_3 entre $13,5 \mu\text{m}$ e $16 \mu\text{m}$ e uma diferença de índice Δn_{23} com a casca ótica externa 14 entre $-10,0 \times 10^{-3}$ e $-5,0 \times 10^{-3}$. A tabela 1 também mostra que a integral de superfície da depressão V_{03} , conforme definido acima, está entre $-55,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $-30,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e a integral de volume da depressão V_{13} , conforme definido acima, está entre $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ e $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

De acordo com uma modalidade preferida, o raio da casca em depressão r_3 pode estar limitado a $15 \mu\text{m}$, a fim de ainda reduzir o custo de produção da fibra e todas as fibras de acordo com os Exemplos estão em conformidade deste modo. De fato, a depressão 13 pode ser produzido por deposição química a vapor de plasma (PCVD), tornando possível incorporar uma grande quantidade de flúor na sílica para formar cascas com grande depressão. A parte da fibra 10 que corresponde ao tubo e à deposição PCVD, porém, é mais cara; portanto, busca-se limitar essa parte tanto quanto possível. Também é possível considerar a produção da depressão 13 através de incorporação de microfuros ou microbolhas em vez de flúor dopado. O flúor dopado, porém, permanece mais fácil de controlar para a produção industrial do que a incorporação de microbolhas.

Uma depressão 13, que corresponde aos critérios de superfície e volume, definidos acima, torna possível obter um bom compromisso entre perdas por curvatura grandemente reduzidas em relação às fibras existentes e um regime de vazamento suficientemente consistente do modo LP11 em um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Também deve ser notado da tabela 1 que uma modalidade preferida da fibra tem uma casca intermediária 12 entre o núcleo central 11 e a depressão 13. Essa casca intermediária 12 torna possível limitar os efeitos da depressão 13 sobre a propagação do sinal ótico no núcleo. A tabela 1 mostra que a casca intermediária 12 tem um raio r_2 entre 8,5 μm e 9,7 μm e uma diferença de índice Δn_2 com a casca ótica entre $-0,1 \times 10^{-3}$ e $0,6 \times 10^{-3}$. A tabela I mostra que a integral de superfície da casca intermediária V_{02} , como definido acima, está entre $-0,5 \times 10^{-3}$ e $3,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$. A integral de volume da casca intermediária V_{12} , conforme definido acima, está entre $-6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

O núcleo central 11 de uma fibra 10 de acordo com a invenção é otimizado, em combinação com a casca intermediária 12 para garantir parâmetros de transmissão ótica na fibra em conformidade com as recomendações G.652 e G.657A, particularmente em termos de diâmetro do campo modal e dispersão cromática. Isso também ajuda a segurar a compatibilidade com as fibras de outros sistemas óticos.

A Tabela II abaixo mostra as características de transmissão ótica para fibras de acordo com a invenção. A primeira coluna repete as referências da tabela 1. As colunas seguintes proporcionam, para cada perfil de fibra, os valores de diâmetro do campo modal (MFD) para comprimentos de onda de 1310 nanômetros e 1550 nanômetros, comprimento de onda de dispersão cromática zero (ZDW) e inclinação de dispersão zero (ZDS).

Tabela 2

	MFD1310 (μm)	MFD1550 (μm)	ZDW (nm)	ZDS $\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
BIF	8,80	9,90	1320	0,0878
SSMF1	9,14	10,31	1314	0,0855
SSMF2	9,27	10,39	1309	0,0871
SSMF3	9,18	10,25	1306	0,088
C.Ex1	8,67	9,68	1317	0,0908
C.Ex2	8,65	9,59	1310	0,0917
C.Ex3	8,66	9,62	1312	0,0914
C.Ex4	8,64	9,65	1317	0,0897
C.Ex5	8,95	10,01	1317	0,0905
C.Ex6	8,96	10,02	1317	0,0905
C.Ex7	8,80	9,81	1314	0,0906
C.Ex8	8,89	9,91	1315	0,0913
C.Ex9	8,88	9,91	1314	0,0909
C.Ex10	8,94	9,97	1315	0,0914
C.Ex11	8,97	10,00	1314	0,0917
C.Ex12	8,95	9,99	1315	0,0911
C.Ex13	8,92	9,95	1314	0,0911
Ex1	9,00	10,10	1318	0,0906
Ex2	8,75	9,81	1318	0,0895
Ex3	8,75	9,81	1318	0,0895
Ex4	8,60	9,64	1318	0,0888
Ex5	8,60	9,64	1318	0,0888
Ex6	8,91	9,94	1315	0,0913
Ex7	8,92	9,95	1315	0,0914
Ex8	8,83	9,84	1313	0,0908
Ex9	8,93	9,95	1314	0,0915

Deve ser notado da tabela II que a fibra 10 de acordo com a invenção é compatível com fibras que correspondem aos critérios da recomendação G.652. Em particular, a fibra aqui divulgada tem um diâmetro de campo modal MFD na faixa padronizada de valores de 8,6 μm a 9,5 μm , em
 5 1310 nanômetros, um comprimento de onda de dispersão zero entre 1300 nanômetros e 1324 nanômetros, e uma inclinação de dispersão zero de menos do que 0.092 ps/(nm²·km). Cada um desses valores está de acordo com a recomendação G.652.

Por outro lado, conforme mostrado pela Tabela III (abaixo), a fi-
 10 bra tem um comprimento de onda de corte efetivo λ_{ceff} (ou corte de fibra padrão, terceira coluna da Tabela III) maior do que 1300 nanômetros, ou mesmo maior do que 1350 nanômetros. Como discutido acima, o comprimento de onda de corte efetivo é medido como sendo o comprimento de onda no qual o sinal ótico não está mais no modo único após a propagação através
 15 de dois metros de fibra, tal como definido por Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-44.

Este valor de comprimento de onda de corte efetivo aumentado conduz a um comprimento de onda de corte de cabo λ_{cc} (ou corte de cabo padrão - quinta coluna da tabela III) entre 1200 nanômetros e 1260 nanôme-
 20 tros. O comprimento de onda de corte de cabo é medido como o comprimento de onda no qual o sinal óptico não é mais de modo único após a propagação através de 22 metros de fibra, como definido pelo Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commision no padrão IEC 60793-1-44.

O sinal ótico é de modo único quando a atenuação do modo
 25 LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB. Ambas as recomendações G.652 e G.657 impõem um valor máximo de 1260 nanômetros para o comprimento de onda de corte do cabo.

Uma finalidade dos desenvolvimentos aqui divulgados é produ-
 30 zir fibras que podem ser usadas em todas as larguras de banda de transmissão exploradas por sistemas óticos, isto é, fibras que podem ser usadas em propagação de modo único a partir da largura de banda original (OB), que se estende de 1260 nanômetros até 1360 nanômetros e até a largura de banda

ultralonga (UL) além de 1625 nanômetros. Um comprimento de onda de corte baixo torna possível garantir a possibilidade de uso da fibra através de todas as larguras de banda disponíveis.

As simulações da Tabela III (abaixo), porém, mostram que o modo LP11 de ordem diretamente superior é propagado de acordo com um modo vazante de um comprimento de onda de 1260 nanômetros. A fibra aqui divulgada pode, portanto, ser usado em transmissão monomodo através da largura de banda original (OB: 1260 nanômetros a 1360 nanômetros).

A Tabela III (abaixo) mostra diversos valores de comprimentos de onda de corte para fibras de acordo com a invenção. A primeira coluna da Tabela III repete as referências da Tabela I.

A coluna "Corte de Fibra Teórico" proporciona um valor teórico de comprimento de onda de corte, que corresponde ao comprimento de onda de transição entre uma propagação guiada do modo LP11 e uma propagação em modo vazante desse modo LP11. Para comprimentos de onda trabalho além desse comprimento de onda de corte efetivo, o modo LP11 é propagado em modo vazante.

A coluna "Corte de Fibra Padrão" corresponde ao comprimento de onda de corte efetivo λ_{ceff} como definido pelo Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44.

A coluna "Corte de Fibra de 5m" corresponde ao comprimento de onda de corte medido como o comprimento de onda em que o sinal ótico não é mais multimodo após propagação através de cinco metros de fibra. Esse valor, portanto, corresponde ao comprimento de onda de corte efetivo, medido após propagação através de cinco metros de fibra ao invés de 2 metros de fibra.

A coluna "Corte de Cabo Padrão" corresponde ao comprimento de onda de corte do cabo λ_{cc} como definido pelo Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44. De acordo com a recomendação do Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44, o comprimento de onda de corte do cabo λ_{cc} é determinado pelo posicionamento da fibra em dois

laços de 40 milímetros de raio e pela disposição do restante da fibra (isto é, 21,5 metros de fibra) em um mandril com um raio de 140 milímetros. Esse corte deve ser 1260 nm ou menos de acordo com a presente invenção. Os Exemplos Comparativos 7 estão em conformidade com esta exigência, mas
5 são ligeiramente demais em relação aqui acima do corte de cabo reto e, portanto, estão fora do escopo da presente invenção.

A coluna "Corte de Cabo Reto" corresponde ao comprimento de onda de corte de cabo pelo posicionamento da fibra em dois laços, cada um tendo um raio de 40 milímetros e pela disposição do restante da fibra (isto é,
10 21,5 metros de fibra) virtualmente reta. O corte deve ser 1260 nm ou menos de acordo com a presente invenção. Exemplos comparativos 9, 10 e 12 estão em conformidade com essa exigência, mas são ligeiramente superiores com relação ao corte de cabo padrão e, portanto, estão fora do escopo da presente invenção. Todos os exemplos comparativos estão fora do escopo
15 da presente invenção porque apresentam um corte padrão um pouco maior do que 1260 nm ou um corte de cabo reto um pouco maior que 1260 nm.

A coluna "LP11 LL @1260 após 22 m" indica as perdas por vazamento do modo LP11 após a propagação através de 22 metros de fibra virtualmente reta.

20 A coluna "Comprimento - 19,3 dB LP11 LL @1260 nm" indica o comprimento da fibra requerido para obter perdas por vazamento do modo LP11 igual a 19,3 dB, com a fibra sendo mantida virtualmente reta. Isso indica em que distância a fibra, disposta virtualmente reta, é monomodo dentro do significado das recomendações G.652 e G.657.

TABELA III

	Corte de fibra (teoria)	Corte de fibra padrão	Corte de fibra de 5 m	Corte de cabo padrão	Corte de cabo reto	LP11 LL @1260 nm depois de 22 m	Comprimento - 19,3 dB LP11 LL @1260 nm
	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(dB)	(m)
BIF	1197	1270	1234	1196	1208	180	2
SSMF1	1287	1226	1226	1151	1151	2	212
SSMF2	1334	1267	1267	1188	1188	0	>1000
SSMF3	1381	1311	1311	1231	1231	0	>1000
C.Ex1	1250	1379	1321	1271	1268	10	41
C.Ex2	1243	1383	1323	1271	1266	16	27
C.Ex3	1232	1397	1333	1271	1265	16	26
C.Ex4	1239	1392	1331	1272	1267	15	28
C.Ex5	1242	1382	1322	1268	1264	18	24
C.Ex6	1247	1376	1319	1267	1266	15	28
C.Ex7	1249	1351	1302	1259	1262	18	23
C.Ex8	1246	1378	1319	1268	1264	17	25
C.Ex9	1235	1373	1317	1264	1260	18	24
C.Ex10	1243	1371	1313	1263	1260	22	20
C.Ex11	1248	1367	1310	1263	1263	17	25
C.Ex12	1244	1371	1314	1264	1260	20	21
C.Ex13	1240	1375	1319	1267	1263	17	24

Ex1	1175	1316	1255	1204	1201	88	5
Ex2	1171	1316	1246	1205	1198	83	5
Ex3	1171	1366	1271	1225	1205	44	10
Ex4	1171	1316	1244	1207	1195	75	6
Ex5	1171	1366	1269	1226	1200	40	11
Ex9	1243	1360	1304	1257	1258	26	16
Ex7	1238	1362	1305	1256	1255	24	17
Ex8	1247	1350	1300	1257	1260	22	19
Ex9	1245	1362	1306	1259	1259	24	18

É notado da Tabela III que o comprimento de onda de corte efetivo padrão λ_{ceff} , isto é, conforme medido de acordo com as recomendações do Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44 é maior do que 1300 nm. Similarmente, é notado da

5 Tabela III que o comprimento de onda de corte de cabo padrão λ_{cc} , isto é, conforme medido de acordo com as recomendações do Subcommittee 86A do International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-44, está entre 1200 nanômetros e 1260 nanômetros, isto é, de acordo com o limite de 1260 nanômetros, imposto pelas recomendações G.652 e G.657.

10 É observado da Tabela III que o modo LP11 é altamente atenuado a partir de um comprimento de onda de 1260 nanômetros. De fato, o comprimento de onda de corte "teórico" da fibra é menor do que ou igual a 1250 nanômetros. Desse modo, o modo LP11 de ordem superior é propagado em um regime de modo vazante na largura de banda original e apenas o

15 modo fundamental permanece guiado na fibra da invenção como a partir de um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Similarmente, é notado da Tabela III que o comprimento de onda de corte de fibra é reduzido, significativamente, após apenas 5 metros de propagação na fibra. Desse modo, o comprimento de onda de corte, medido

20 como o comprimento de onda em que o sinal ótico não está mais no modo único após a propagação através de 5 metros de fibra, está entre 1240 nanômetros e 1310 nanômetros para uma fibra de acordo com a invenção.

Além disso, a Tabela III mostra claramente que o modo LP11 já está bem atenuado após 22 metros de propagação. É notado em particular

25 que a atenuação do modo LP11 em uma fibra 10 de acordo com a presente invenção é maior do que a atenuação do modo LP11 em uma fibra SSMF, quando a fibra é disposta virtualmente reta. De fato, em uma fibra SSMF, são as curvaturas que tornam possível atenuar, altamente, o modo LP11. Desse modo, a fibra tem uma atenuação do modo LP11 maior do que 5 dB

30 após 22 metros de propagação em fibra reta em um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Além disso, a Tabela III também mostra que a atenuação de pe-

lo menos 19,3 dB do modo LP₁₁ é obtida de modo relativamente rápido, após menos do que 22 metros, de acordo com o corte de cabo imposto pela recomendação.

Além disso, o aumento no comprimento de onda de corte efetivo
5 torna possível aumentar o valor do MAC como definido acima e, consequentemente, reduzir as perdas por curvatura.

A Tabela IV abaixo relata valores de perdas por curvatura para modalidades preferidas de fibras, conforme aqui divulgado. A primeira coluna da Tabela IV repete as referências da Tabela 1. As quatro colunas seguintes mostram valores de perdas por curvatura para respectivos raios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7,5 milímetros e 5 milímetros em um comprimento de onda de 1550 nanômetros. As quatro colunas seguintes dão valores de perdas por curvatura PPC para respectivos raios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7,5 milímetros e 5 milímetros em um
15 comprimento de onda de 1625 nanômetros.

A última coluna tem um fator de mérito FOM representando a ordem de magnitude do aperfeiçoamento nas perdas por curvatura pelas fibras de acordo com a presente invenção em relação aos limites impostos pela recomendação G.657B. O FOM da Tabela IV é, assim, definido como
20 uma média das relações entre os limites superiores impostos pelo padrão G.657B e as perdas por curvatura nas fibras da invenção para cada raio de curvatura medido. Todos os exemplos apresentam um FOM menor do que ou igual a 1, significando, assim, que eles todos estão em conformidade com as recomendações de perdas por curvatura da G.657B

25 A Tabela IV relata na primeira linha os valores limites de perdas por curvatura impostos pelo padrão G.657B para cada raio de curvatura e para os comprimentos de onda de 1550 nanômetros e 1625 nanômetros.

TABELA IV

	R=15mm	R=10mm	R=7,5mm	R=5mm	R=15mm	R=10mm	R=7,5mm	R=5mm	FOM
	PPC @1550nm (dB/turn)				PPC @1625nm (dB/turn)				
G657B	3 E-03	1 E-01	5 E-01		1 E-02	2 E-01	1 E+00		1,00
BIF	1,3E-03	2,9E-02	1,0E-01	3,3E-01	7,0E-03	8,4E-02	2,3E-01	6,3E-01	0,70
SSMF1	1,5E-02	6,0E-01	3,4E+00	1,7E+01	7,5E-02	1,7E+00	6,9E+00	2,7E+01	8,44
SSMF2	6,3E-03	3,6E-01	2,4E+00	1,4E+01	3,4E-02	1,0E+00	5,0E+00	2,3E+01	5,21
SSMF3	9,6E-04	1,1E-01	1,0E+00	8,9E+00	6,5E-03	3,6E-01	2,5E+00	1,4E+01	2,45
C.Ex1	4,9E-05	2,9E-03	1,6E-02	7,1E-02	3,9E-04	1,1E-02	4,2E-02	1,3E-01	0,05
C.Ex2	5,4E-05	2,9E-03	1,6E-02	6,5E-02	4,3E-04	1,1E-02	4,1E-02	1,3E-01	0,05
C.Ex3	6,6E-05	3,0E-03	1,5E-02	5,6E-02	5,0E-04	1,1E-02	3,8E-02	1,1E-01	0,05
C.Ex4	6,2E-05	3,1E-03	1,5E-02	6,3E-02	4,7E-04	1,1E-02	3,9E-02	1,2E-01	0,06
C.Ex5	2,2E-04	6,9E-03	2,7E-02	1,0E-01	1,3E-03	2,1E-02	6,4E-02	1,8E-01	0,13
C.Ex6	2,1E-04	7,1E-03	2,9E-02	1,1E-01	1,3E-03	2,2E-02	6,9E-02	2,0E-01	0,13
C.Ex7	1,4E-04	6,5E-03	3,1E-02	1,3E-01	1,0E-03	2,2E-02	7,7E-02	2,4E-01	0,11
C.Ex8	1,4E-04	5,4E-03	2,4E-02	9,0E-02	9,2E-04	1,8E-02	5,8E-02	1,7E-01	0,09
C.Ex9	2,3E-04	7,3E-03	2,8E-02	1,0E-01	1,4E-03	2,3E-02	6,8E-02	2,0E-01	0,14
C.Ex10	2,0E-04	6,8E-03	2,9E-02	1,0E-01	1,2E-03	2,2E-02	6,8E-02	2,0E-01	0,12

C.Ex11	2,0E-04	7,1E-03	3,0E-02	1,1E-01	1,2E-03	2,3E-02	7,1E-02	2,1E-01	0,12
C.Ex12	2,0E-04	7,0E-03	2,9E-02	1,0E-01	1,3E-03	2,2E-02	6,8E-02	2,0E-01	0,13
C.Ex13	2,3E-04	7,4E-03	2,9E-02	1,1E-01	1,4E-03	2,3E-02	7,0E-02	2,1E-01	0,14
Ex1	2,3E-03	2,8E-02	8,0E-02	1,4E-01	1,0E-02	7,5E-02	1,7E-01	2,5E-01	1,00
Ex2	1,2E-03	1,9E-02	5,0E-02	1,0E-01	6,5E-03	5,4E-02	1,3E-01	2,1E-01	0,65
Ex3	8,5E-04	1,2E-02	3,6E-02	6,7E-02	4,5E-03	3,7E-02	8,4E-02	1,4E-01	0,45
Ex4	7,1E-04	1,3E-02	4,3E-02	8,7E-02	4,1E-03	4,2E-02	1,0E-01	1,8E-01	0,41
Ex5	4,9E-04	8,7E-03	2,8E-02	5,6E-02	2,8E-03	2,8E-02	6,7E-02	1,2E-01	0,28
Ex6	2,0E-04	7,1E-03	3,1E-02	1,1E-01	1,2E-03	2,3E-02	7,2E-02	2,1E-01	0,12
Ex7	2,2E-04	7,4E-03	3,1E-02	1,1E-01	1,4E-03	2,4E-02	7,2E-02	2,1E-01	0,14
Ex8	1,7E-04	7,4E-03	3,4E-02	1,3E-01	1,2E-03	2,4E-02	8,2E-02	2,5E-01	0,12
Ex9	1,9E-04	7,0E-03	3,0E-02	1,1E-01	1,2E-03	2,3E-02	7,2E-02	2,1E-01	0,12

É notado da Tabela IV que as perdas por curvatura das fibras correspondentes ao perfil de acordo com a invenção são claramente menores do que os limites impostos pelo padrão G.657B. Apenas, a perda por curvatura em 1625 nanômetros em uma curvatura de 15 milímetros para o

5 Exemplo 1 é a mesma que a da recomendação.

Desse modo, a fibra divulgada acima tem, para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, perdas por curvatura menores do que 3×10^{-3} dB/curva, de preferência menor do que $0,25 \times 10^{-3}$ dB/curva para um raio de curvatura de 15 milímetros, quando comparado com um limite de 3×10^{-3} dB/curva, imposto pela recomendação G.657B. A fibra ainda tem perdas por curvatura menores do que ou iguais 3×10^{-2} dB/curva, de preferência menor do que ou igual a $7,5 \times 10^{-3}$ dB/curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, quando comparado com um limite de 0,1 dB/curva, imposto pela recomendação G.657B. As perdas por curvatura são menores do que ou iguais a 0,05 dB/curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros, como
15 contra um limite de 0,5 dB/curva imposto pela recomendação G.657B e perdas por curvatura menores do que 0,15 dB/curva, de preferência menor do que ou igual a 0,10 dB/curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

Similarmente, a fibra de acordo com a invenção mostra, para um
20 comprimento de onda de 1625 nanômetros, perdas por curvatura menores do que 10^{-2} dB/curva, de preferência, menor do que $1,5 \times 10^{-3}$ dB/curva para um raio de curvatura de 15 milímetros, quando comparado com um limite de 10^{-2} dB/curva, imposto pela recomendação G.657B. As perdas por curvatura são menores do que ou iguais 0,1 dB/curva, de preferência menores do que
25 ou iguais a 25×10^{-3} dB/curva, para um raio de curvatura de 10 milímetros, quando comparado com um limite de 0,2 dB/curva, imposto pela recomendação G.657B. A fibra mostra perdas por curvatura menores do que ou iguais a 0,15 dB/curva, de preferência, menores do que ou iguais a 0,08 dB/curva, para um raio de curvatura de 7,5 milímetros, comparado com um
30 limite de 1 dB/curva, imposto pela recomendação G.657B e perdas por curvatura menores do que 0,25 dB/curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

As fibras aqui divulgadas são bem adequadas a um uso em sistemas óticos instalados na casa do assinante, do tipo FTTH, em que a fibra é submetida à tensões de curvatura significativas devido à miniaturização da caixa ótica ou a manutenção da fibra no lugar com grampos. A fibra pode ser colocada em caixas óticas particularmente compactas. De fato, a fibra ótica
5 pode ser disposta com um raio de curvatura de menos do que 15 milímetros, por exemplo, um raio de curvatura de cerca de 5 milímetros. A fibra permanece compatível com as fibras de sistemas existentes, em particular em termos de diâmetro do campo modal para bom acoplamento de fibra com fibra.
10 O aumento no comprimento de onda de corte não é prejudicial devido a uma atenuação significativa do modo LP11 a partir de um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Conforme apresentado no Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 60/ 986.737, para uma *Microbend-Resistant Optical Fiber* (Overton) e
15 Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 61/ 041.484, para uma *Microbend-Resistant Optical Fiber* (Overton), cada um dos quais é aqui incorporado através de referência em sua totalidade, emparelhando uma fibra de vidro insensível à curvatura (por exemplo, fibras de vidro monomodo de Draka Comteq, disponíveis sob a marca de comércio e indústria BendBright^{XS®}) e
20 um revestimento primário tendo módulo muito baixo (por exemplo, produto de acrilato de uretano curável por UV de DSM Desotech's, fornecido sob a marca de comércio e indústria DeSolite[®] DP 1011) obtêm-se fibras óticas tendo perdas excepcionalmente baixas (por exemplo, reduções em sensibilidade à microcurvatura de pelo menos 10X, quando comparadas com uma
25 fibra monomodo, empregando um sistema de revestimento convencional). Em consequência, ainda está dentro do escopo da presente invenção empregar os revestimentos divulgados no Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 60/986.737 e Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 61/041.484 com a fibra ótica monomodo da presente invenção.

30 Com relação a isso, a microcurvatura pode ser analisada de acordo com o teste do tambor de lixa de diâmetro fixo do IEC (isto é, papel de lixa de grau 40 microns, Método B, IEC TR62221), que proporciona uma si-

1 tuação de tensão de microcurvatura, que afeta fibras monomodo, mesmo em
temperatura ambiente. O relatório técnico e os procedimentos de teste pa-
drão de sensibilidade à microcurvatura TR62221 do IEC (por exemplo,
TR62221 do IEC, Método B (tambor de papel de lixa de diâmetro fixo) e Mé-
5 todo D (fundo de cesta)) são aqui incorporados através de referência em sua
totalidade.

O presente pedido ainda incorpora inteiramente através de refe-
rência as patentes comumente atribuídas, pedidos de patente e publicações
de pedidos de patente a seguir, cada um dos quais discute as fibras óticas:
10 patente norte-americana Nº 4.838.643 para *Single Mode Bend Insensitive
Fiber for Use in Fiber Optic Guidance Applications* (Hodges e colaborado-
res.); Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 2007/
0127878 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 11/ 556.895
relacionado para uma *Single Mode Optical Fiber* (de Montmorillon e outros.);
15 Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº US 2007/0280615
A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 11/ 697.994 relacionado
para *Single-Mode Optical Fiber* (de Montmorillon e outros); patente norte-
americana Nº 7.356.234 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 11/
743.365 relacionado para *Chromatic Dispersion Compensating Fiber* (de
20 Montmorillon e outros.); Publicação de Pedido de Patente dos Estados Uni-
dos Nº US 2008/0152288 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos
Nº 11/999.333 relacionado para uma *Optical Fiber* (Flammer e outros.); e
Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 61/ 101.337 para uma *Single Mo-
de Optical Fiber* (de Montmorillon e outros).

25 A fibra ótica de acordo com a presente invenção pode ainda in-
cluir uma ou mais camadas de revestimento (por exemplo, um revestimento
primário e um revestimento secundário). Pelo menos uma das camadas de
revestimento - tipicamente o revestimento secundário - pode ser colorido
e/ou possuir outras marcações para ajudar a identificar fibras individuais. De
30 modo alternativo, uma camada de tinta terciária pode circundar os revesti-
mentos primário e secundário.

A fibra ótica de acordo com a presente invenção pode ser em-

pregada em várias estruturas, tais como aquelas estruturas exemplificativas aqui divulgadas depois.

Por exemplo, uma ou mais das presentes fibras óticas podem ser encerradas no interior de um tubo de proteção. Por exemplo, a fibra ótica
5 pode ser empregada em um tubo de proteção de fibra única solta ou em um tubo de proteção de fibras múltiplas soltas. Com relação a este último, fibras óticas múltiplas podem ser enfeixadas ou torcidas dentro de um tubo de proteção ou outra estrutura. Com relação a isso, dentro de um tubo de proteção, fibras múltiplas, soltas, subfeixes de fibras podem ser separados
10 com um aglutinante (por exemplo, cada subfeixe de fibras é envolvido em um aglutinante. Além disso, tubo para facilitar conectorização ("fan out tubing") pode ser instalado na terminação desses tubos de proteção de fibra solta, para terminar, diretamente, fibras óticas soltas, com os conectores instalados no campo.

15 Em outras modalidades, o tubo de proteção pode circundar, apertadamente, o revestimento de fibra ótica externo (isto é, fibra protegida apertada), ou de outro modo, circundam o revestimento de fibra ótica externo ou camada de tinta para proporcionar uma folga radial exemplificativa de entre cerca de 50 e 100 microns (isto é, uma fibra protegida semiapertada).

20 Com relação à fibra protegida, apertada, anterior, a proteção pode ser formada por revestimento da fibra ótica com uma composição curável (por exemplo, um material curável por UV) ou um material termoplástico. O diâmetro externo dos tubos de proteção apertado, independente de se o tubo de proteção é formado de um material curável ou não curável, tipicamente, é menor do que cerca de 1.000 microns (por exemplo, ou cerca de
25 500 microns ou cerca de 900 microns).

Com relação à última fibra protegida semiapertada, um lubrificante pode ser incluído entre a fibra ótica e o tubo de proteção (por exemplo, para proporcionar uma camada de deslizamento).

30 Como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, um tubo de proteção exemplificativo encerrando fibras óticas como aqui divulgado pode ser formado de poliolefinas (por exemplo, polietileno ou

polipropileno), incluindo poliolefinas fluoradas, poliésteres (por exemplo, tereftalato de polibutileno), poliamidas (por exemplo, náilon), bem como outros materiais poliméricos e combinações. Em geral, um tubo de proteção pode ser formado de uma ou mais camadas. As camadas podem ser homogêneas ou incluir misturas ou combinações de vários materiais dentro de cada camada.

Neste contexto, o tubo de proteção temporário pode ser extrudado (por exemplo, um material polimérico extrudado) ou pultruído (por exemplo, um plástico reforçado com fibra pultruído). À guisa de exemplo, o tubo de proteção pode incluir um material para proporcionar alta temperatura e resistência química (por exemplo, um material aromático ou material de polissulfona).

Embora tubos de proteção, tipicamente, tenham uma seção transversal circular, tubos de proteção, alternativamente, podem ter uma forma irregular ou não circular (por exemplo, uma seção transversal oval ou trapezoidal).

De modo alternativo, uma ou mais das presentes fibras óticas podem ser, simplesmente, circundadas por uma capa protetora externa ou encapsuladas dentro de um tubo de metal selado. Em ambas as estruturas, nenhum tubos de proteção é requerido, necessariamente.

Fibras óticas múltiplas, conforme aqui divulgado podem ser intercaladas, encapsuladas e/ou borda ligada para formar uma fita de fibras óticas. As fitas de fibras óticas podem ser divisíveis em subunidades (por exemplo, uma fita de doze fibras que pode ser dividida em subunidades de seis fibras). Além disso, uma pluralidade dessas fitas de fibras óticas pode ser agregada para formar uma pilha de fitas, que pode ter vários tamanhos e formas.

Por exemplo, é possível formar uma pilha de fitas retangulares ou uma pilha de fitas em que as fitas de fibras óticas superior e inferior têm menos fibras óticas do que aquelas em direção ao centro da pilha. Essa construção pode ser útil para aumentar a densidade de elementos óticos (por exemplo, fibras óticas) dentro do tubos de proteção e/ou cabo.

Em geral, é desejável aumentar o enchimento dos elementos de transmissão em tubos de proteção ou cabos, sujeito a outras restrições (por exemplo, atenuação de cabo ou médio alcance). Os próprios elementos óticos podem ser projetados para densidade de empacotamento aumentada.

- 5 Por exemplo, a fibra ótica pode possuir propriedades modificadas, tais como perfil de índice de refração aperfeiçoado, dimensões de núcleo ou de casca ou espessura e/ou módulo de revestimento primário, para melhorar características de microcurvatura e macro-curvatura.

- 10 À guisa de exemplo, uma pilha de fitas retangulares pode ser formada com ou sem uma torção central (isto é, uma "torção primária"). Aqueles tendo uma habilidade comum na técnica apreciarão que uma pilha de fitas é fabricada, tipicamente, com torção rotacional para permitir que o tubo ou cabo se curve, sem colocar tensão mecânica excessiva sobre as fibras durante embobinamento, instalação e uso. Em uma variação estrutural, uma
- 15 pilha de fitas retangulares torcidas (ou não torcidas) pode ser ainda formada em uma configuração semelhante à bobina (por exemplo, uma hélice) ou uma configuração semelhante à onda (por exemplo, uma senóide). Em outras palavras, a pilha de fitas pode possuir deformações "secundárias" regulares.

- 20 Como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, essas fitas de fibras óticas podem ser posicionadas dentro de um tubo de proteção ou outra estrutura circundante, tal como um cabo de livres tubos de proteção. Sujeito a certas restrições (por exemplo, atenuação), é desejável aumentar a densidade de elementos, tais como fibras óticas ou
- 25 fitas de fibras óticas dentro de tubos de proteção e/ou cabos de fibras óticas.

- Uma pluralidade de tubos de proteção contendo fibras óticas (por exemplo, fibras soltas ou em fita) pode ser posicionada externamente adjacente a e em cordões torcidos em torno de um elemento de resistência central. Essa formação de cordões pode ser realizada em uma direção, heli-
- 30 coidalmente, conhecida como formação de fios "S" ou "Z" ou formação de fios Reverse Oscillated Lay, conhecida como formação de fios "S - Z". A formação de fios em torno do elemento de resistência central reduz a tensão

de fibra ótica, quando a tensão do cabo ocorre durante instalação e uso.

Aqueles tendo habilidade comum na técnica compreenderão o benefício da minimização da tensão de fibra para tensão de cabo de tração e tensão de cabo compressiva longitudinal, durante condições de instalação ou de operação.

Com relação à tensão do cabo de tração, que pode ocorrer durante instalação, o cabo se tornará mais longo enquanto as fibras óticas podem migrar para mais perto, para o eixo neutro do cabo, a fim de reduzir, se não eliminar, a tensão que está sendo retransmitida para as fibras óticas.

Com relação à tensão compressiva longitudinal, que pode ocorrer em baixas temperaturas de operação, devido ao encolhimento dos componentes do cabo, as fibras óticas migrarão para mais longe do eixo neutro do cabo a fim de reduzir, se não eliminar, a tensão compressiva sendo transferida para as fibras óticas.

Em uma variação, duas ou mais camadas substancialmente concêntricas de tubos de proteção podem ser posicionados em torno de um membro de resistência. Em uma outra variação, múltiplos elementos de formação de fios (por exemplo, múltiplos tubos de proteção formados torcidos em torno de um elemento de resistência) podem eles mesmos serem formados torcidos em torno um do outro ou em torno de um elemento de resistência central primário.

De modo alternativo, uma pluralidade de tubos de proteção contendo fibras óticas (por exemplo, fibras soltas ou em fitas) pode ser simplesmente colocada externamente adjacente ao elemento de resistência central (isto é, os tubos de proteção não são formados torcidos intencionalmente ou dispostos em torno do elemento de resistência central de maneira particular e se estendem substancialmente paralelos ao elemento de resistência central).

Ainda de modo alternativo, as presentes fibras óticas podem ser posicionadas com um tubo de proteção central (isto é, o cabo de tubo de proteção central tem um tubo de proteção central ao invés de um elemento de resistência central). Esse cabo de tubo de proteção central pode posicio-

nar elementos de resistência em outros locais. Por exemplo, elementos de resistência metálicos ou não metálicos (por exemplo, GRP) podem ser posicionados dentro da própria capa do cabo, e/ou uma ou mais camadas de fios de alta resistência (por exemplo, fios de aramida ou não aramida) podem ser

5 posicionados paralelos a ou enrolados (por exemplo, contra-helicoidalmente) em torno do tubo de proteção central (isto é, dentro do espaço interior do cabo). Igualmente, elementos de resistência podem ser incluídos dentro do invólucro de tubo de proteção.

Em outras modalidades, as fibras óticas podem ser colocadas

10 dentro de um cabo de núcleo fendido. Em um cabo de núcleo fendido, as fibras óticas, individualmente, ou como uma fita de fibras, podem ser colocadas dentro de ranhuras helicoidais pré-formadas (isto é, canais) na superfície de um elemento de resistência central, assim, formando uma unidade de núcleo fendido. A unidade de núcleo fendido pode ser encerrada por um tu-

15 bo de proteção. Uma ou mais dessas unidades de núcleo fendido podem ser colocadas dentro de um cabo de núcleo fendido. Por exemplo, uma pluralidade de unidades de núcleo fendido podem ser formadas torcidas helicoidalmente, em torno de um elemento de resistência central.

De modo alternativo, as fibras óticas podem ser formadas

20 torcidas em um projeto de cabo de maxitubo, pelo que as fibras óticas são formadas torcidas em torno de si mesmas, dentro de um grande tubo de proteção de multifibras soltas, ao invés de em torno de um elemento de resistência central. Em outras palavras, o grande tubo de proteção de multifibras soltas é posicionado centralmente dentro do cabo de maxitubo. Por exemplo,

25 esses cabos de maxitubo podem ser empregados em fios óticos de aterramento (OPGW).

Em outra modalidade de cabeamento, múltiplos tubos de proteção podem ser formados torcidos em torno de si mesmos, sem a presença de um elemento central. Esses tubos de proteção formados torcidos podem

30 ser circundados por um tubo protetor. O tubo protetor pode servir como o invólucro externo do cabo de fibra ótica ou pode ser ainda circundado por uma capa externa. O tubo protetor pode circundar, apertada ou frouxamente,

os tubos de proteção formados torcidos.

Como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, elementos adicionais podem ser incluídos dentro de um núcleo de cabo. Por exemplo, cabos de cobre ou outros elementos de transmissão ativos podem ser formados torcidos ou de outro modo enfeixados dentro da 5 capa de cabo. Elementos passivos também podem ser colocados dentro do núcleo de cabo, tais como entre as paredes interiores dos tubos de proteção e as fibras óticas encerradas. Alternativamente e à guisa de exemplo, elementos passivos podem ser colocados fora dos tubos proteção entre as respectivas 10 paredes exteriores dos tubos de proteção e a parede interior da camisa de cabo ou dentro do espaço interior de um cabo de livre tubo de proteção.

Por exemplo, fios, não trançados, tecidos (por exemplo, fitas), espumas ou outros materiais contendo material que pode inchar com água e/ou revestidos com materiais que podem inchar com água (por exemplo, 15 incluindo polímeros superabsorventes (SAPs), tais como pó de SAP) podem ser empregados para proporcionar bloqueio de água e/ou acoplar as fibras óticas ao tubo de proteção circundante e/ou camisa de cabo (por exemplo, via adesão, atrito e/ou compressão). Elementos que podem inchar com água 20 exemplificativos são divulgados na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos, comumente cedido, Nº US 2007/0019915 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 11/424,112, relacionado, para uma *Water-Swellable Tape, Adhesive-Backed for Coupling When Used Inside a Buffer Tube* (Overton e outros), cada um dos quais é aqui incorporado através 25 de referência em sua totalidade.

Além disso, um adesivo (por exemplo, um adesivo fundido a quente ou adesivo curável, tal como um acrilato de silicone, reticulado, através de exposição à radiação actínica) pode ser proporcionado em um ou mais elementos passivos (por exemplo, material que pode inchar com água) 30 para ligar os elementos ao tubo de proteção. Um material adesivo também pode ser usado para ligar o elemento que pode inchar com água às fibras óticas dentro do tubo de proteção. Disposições exemplificativas desses ele-

mentos são divulgadas na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos N° US 2008/0145010 A1, comumente cedido, para um *Gel-Free Buffer Tube with Adhesively Coupled Optical Element* (Overton e outros), que é aqui incorporada através de referência em sua totalidade.

5 Os tubos de proteção (ou cabos de livres tubos de proteção) também podem conter uma composição tixotrópica (por exemplo, graxa ou géis semelhantes à graxa) entre as fibras óticas e as paredes interiores dos tubos de proteção. Por exemplo, encher o espaço livre no interior de um tubo de proteção com bloqueio de água, graxa de enchimento com base em pe-
10 tróleo ajuda a bloquear o ingresso de água. Ainda, a graxa de enchimento tixotrópica, mecanicamente (isto é, viscosamente) acopla as fibras óticas ao tubo de proteção circundante.

Essas graxas de enchimento tixotrópicas são relativamente pesadas e desalinhadas, assim, impedindo a conexão e operações de emenda.
15 Desse modo, as presentes fibras óticas podem ser empregadas em estruturas de cabos secos (isto é, tubos de proteção isentos de graxa).

Estruturas de tubos de proteção exemplificativas que estão livres de graxas de enchimento tixotrópicas são divulgadas no Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 12/146.588, comumente cedido, para uma
20 *Coupling Composition for Optical Fiber Cables*, filed June 26, 2008, (Parris e outros), que é aqui incorporado através de referência em sua totalidade. Esses tubos de proteção empregam composições de acoplamento formadas de uma combinação de polímeros elastoméricos de alto peso molecular (por exemplo, cerca de 35 por cento em peso ou menos) e óleos (por exemplo, cerca de 65 por cento em peso ou mais) que fluem em baixas temperaturas.
25 Ao contrário de graxas de enchimento tixotrópicas, a composição de acoplamento (por exemplo, empregada como gel coesivo ou espuma), tipicamente, é seca e, portanto, menos desalinhada durante a emenda.

Como será compreendido por aqueles tendo habilidade comum
30 na técnica, um cabo encerrando fibras óticas, como aqui divulgado, pode ter uma capa formada de vários materiais em vários projetos. A capa do cabo pode ser formada de materiais poliméricos, tais como, por exemplo, polieti-

leno, polipropileno, cloreto de polivinila (PVC), poliamidas (por exemplo, náilon), poliéster (por exemplo, PBT), plásticos fluorados (por exemplo, perfluoroetileno propileno, fluoreto de polivinila ou difluoreto de polivinilideno) e acetato de etileno vinila. Os materiais de bainha e/ou de tubos de proteção também podem conter outros aditivos, tais como agentes de nucleação, retardantes de chamas, retardantes de fumaça, anti-oxidantes, absorvedores de UV e/ou plastificadores.

A capa do cabo pode ser uma camisa simples formada de um material dielétrico (por exemplo, polímeros não condutores), com ou sem componentes estruturais suplementares que podem ser usados para aperfeiçoar a proteção (por exemplo, de roedores) e resistência proporcionada pela capa de cabo. Por exemplo, uma ou mais camadas de fita metálica (por exemplo, aço) junto com uma ou mais camisas dielétricas podem formar a capa do cabo. Hastes de reforço metálicas ou de fibras de vidro (por exemplo, GRP) também podem ser incorporadas na capa. Além disso, fios de aramida, fibra de vidro ou fios de poliéster podem ser empregados sob os vários materiais da capa (por exemplo, entre a capa do cabo e o núcleo de cabo) e/ou cordas de abertura podem ser posicionadas, por exemplo, dentro da capa de cabo.

Similar aos tubos de proteção, as capas de cabos de fibras óticas, tipicamente, têm uma seção transversal circular, mas capas de cabo, alternativamente, podem ter uma forma irregular ou não circular (por exemplo, uma seção transversal oval, trapezoidal ou achatada).

À guisa de exemplo, a fibra ótica de acordo com a presente invenção pode ser incorporada em cabos de derivação de fibra única, tais como aqueles empregados para aplicações *Multiple Dwelling Unit* (MDU). Nessas aplicações, a camisa de cabo deve exibir resistência ao esmagamento, resistência à abrasão, resistência à perfuração, estabilidade térmica e resistência ao fogo, conforme requerido pelos códigos de construção. Um material exemplificativo para essas camisas de cabos é poliuretano retardante de chama, termicamente estável (PUR), que protege, mecanicamente, as fibras óticas, e ainda é suficientemente flexível para facilitar as instalações de

MDU. De modo alternativo, uma capa de poliolefina ou cloreto de polivinila retardante de chama pode ser usado.

Em geral e como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, um elemento de resistência está, tipicamente, na forma de uma haste ou fios ou fibras trançados/ helicoidalmente enrolados, embora outras configurações esteja, dentro do conhecimento daqueles tendo habilidade comum na técnica.

Cabos de fibras óticas contendo fibras óticas como divulgado podem ser empregados de modo variado, incluindo como cabos de derivação, cabos de distribuição, cabos alimentadores, cabos tronco e cabos de extensões de ponta expostas ("stub cables"), cada um dos quais pode ter exigências operacionais variadas (por exemplo, faixa de temperatura, resistência ao esmagamento, resistência à UV e raio de curvatura mínimo).

Esses cabos de fibras óticas podem ser instalados dentro de dutos, microdutos, plenums ou tubos ascendentes. À guisa de exemplo, um cabo de fibra ótica pode ser instalado em duto ou microduto existente por puxamento ou soprimento (por exemplo, usando ar comprimido). Um método de instalação de cabo exemplificativo é divulgado na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 2007/0263960, comumente cedido, para um *Communication Cable Assembly and Installation Method* (Lock e colaboradores) e Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 12/200,095 para um *Modified Pre-Ferrulized Communication Cable Assembly and Installation Method*, depositado em 28 de agosto de 2008, (Griffioen e colaboradores), cada um dos quais é incorporado através de referência em sua totalidade.

Conforme observado, tubos de proteção contendo fibras óticas (por exemplo, fibras soltas ou em fitas) podem ser formados torcidos (por exemplo, em torno de um elemento de resistência central). Nessas configurações, uma capa protetora externa de cabo de fibras óticas pode ter uma superfície externa texturizada que varia periodicamente no sentido longitudinal ao longo do cabo de maneira que replica a forma torcida dos tubos de proteção subjacentes. O perfil texturizado da capa externa protetora pode aperfeiçoar o desempenho de soprimento do cabo de fibra ótica. A superfí-

cie texturizada reduz a superfície de contato entre o cabo e o duto ou microduto e aumenta o atrito entre o meio de sopramento (por exemplo, ar) e o cabo. A capa externa protetora pode ser feita de um material de baixo coeficiente de atrito, que pode facilitar a instalação por sopramento. Além disso, a
5 bainha externa protetora pode ser dotada de um lubrificante para facilitar a instalação por sopramento.

Em geral, para obter desempenho satisfatório de sopramento a longa distância (por exemplo, entre cerca de 0,914 Km a 1,524 Km (3.000 a 5.000 pés) ou mais, o diâmetro externo de cabo de um cabo de fibras óticas
10 deve ser não mais do que cerca de setenta a oitenta por cento do diâmetro interno dos dutos ou microdutos.

Ar comprimido também pode ser usado para instalar fibras óticas de acordo com a presente invenção em um sistema de fibras sopradas a ar. Em um sistema de fibras sopradas a ar, uma rede cabos ou microdutos
15 não preenchidos é instalada antes da instalação de fibras óticas. As fibras óticas podem ser sopradas, subsequentemente, nos cabos instalados, conforme necessário para suportar as exigências de variação da rede.

Além disso, os cabos de fibras óticas podem ser enterrados diretamente na terra ou, como um cabo aéreo, suspenso a partir de um poste ou coluna. Um cabo aéreo pode ser autossuportado ou preso ou amarrado a um suporte (por exemplo, fio mensageiro ou outro cabo). Cabos de fibras óticas aéreos exemplificativos incluem fios terra suspensos (OPGW), cabo de autossustentação todo dielétrico (ADSS), cabos de amarrar todo dielétrico (AD-Lash) e cabos na figura de um oito, todos os quais são bem compreendidos por aqueles tendo habilidade na técnica. Os cabos na figura de um
25 oito e outros desenhos podem ser enterrados diretamente ou instalados em dutos e, opcionalmente, podem incluir um elemento perceptível por tom, tal como um fio metálico, de modo que possam ser encontrados com um detector de metais.

30 Além disso, embora as fibras óticas possam ser ainda protegidas por uma capa de cabo externa, a própria fibra ótica pode ser ainda reforçada de modo que a fibra ótica possa ser incluída dentro de um cabo de

penetração, que permite o roteamento individual de fibras óticas separadas.

Para empregar, efetivamente, as presentes fibras óticas em um sistema de transmissão, conexões são requeridas em vários pontos na rede. Conexões de fibras óticas são feitas tipicamente através de emenda por fusão, emenda mecânica ou conectores mecânicos.

As extremidades correspondentes de conectores podem ser instaladas nas extremidades das fibras no campo (por exemplo, na localização de rede) ou em uma fábrica antes da instalação na rede. As extremidades dos conectores são correspondidas no campo, a fim de conectar as fibras juntas ou conectar as fibras aos componentes passivos ou ativos. Por exemplo, certos conjuntos de cabos de fibras óticas (por exemplo, conjuntos de bifurcação) podem se separar e transportar fibras óticas individuais de um cabo de múltiplas fibras óticas aos conectores de maneira protetora.

O emprego desses cabos de fibras óticas pode incluir equipamento suplementar. Por exemplo, um amplificador pode ser incluído para aperfeiçoar sinais óticos. Módulos de compensação de dispersão podem ser instalados para reduzir os efeitos da dispersão cromática e da dispersão do modo de polarização. Caixas de emendas, pedestais e quadros de distribuição, que podem ser protegidos por um envoltório podem igualmente ser incluídos. Elementos adicionais incluem, por exemplo, chaves de terminais remotos, unidades óticas de rede, separadores óticos e chaves de centrais telefônicas.

Um cabo contendo fibras óticas de acordo com a presente invenção pode ser empregado para uso em um sistema de comunicação (por exemplo, rede ou telecomunicações). Um sistema de comunicações pode incluir arquitetura de cabos de fibras óticas, tais como *fiber-to-the-node* (FTTN - fibra até o nó), *fiber-to-the-telecommunications enclosure* (FTTE - Fibra para envoltório de telecomunicações), *fiber-to-the-curb* (FTTC - fibra até a calçada), *fiber-to-the-building* (FTTB - fibra até a construção), e *fiber-to-the-home* (FTTH - fibra até a casa), bem como arquitetura de longa distância ou de metro.

Além disso, fibras óticas de acordo com a presente invenção

podem ser usadas em outras aplicações, incluindo, sem limitação, sensores de fibras óticas ou aplicações em iluminação (por exemplo, iluminação artificial).

5 No relatório e nas figuras, modalidades típicas da invenção foram divulgadas. A presente invenção não está limitada a essas modalidades exemplificativas. A menos que de outro modo observado, termos específicos foram usados em um sentido geral e descritivo e não para fins de limitação.

REIVINDICAÇÕES

1. Fibra ótica monomodo, tendo perdas por curvatura reduzidas com um perfil do índice de refração conforme medido em raios que se estendem a partir do centro da fibra em direção a uma casca ótica externa, caracterizada por compreender:

um núcleo central tendo um raio r_1 e uma diferença de índice positiva Δn_1 com a casca ótica;

uma casca intermediária tendo um raio r_2 e uma diferença de índice positiva Δn_2 com a casca ótica menor do que a diferença de índice Δn_1 do núcleo, em que Δn_2 está entre $-0,1 \times 10^{-3}$ e $0,6 \times 10^{-3}$;

uma depressão tendo um raio r_3 e uma diferença de índice negativa Δn_3 com a casca ótica;

em que a integral de volume da depressão (V_{13}), definida como

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3,$$

está entre $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ e $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, e em que a integral de superfície da depressão (V_{03}), definida como

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3,$$

está entre $-55,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $-30,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, de preferência, a integral de superfície da depressão está entre $-42,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $-32,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$;

em que a fibra tem um diâmetro do campo modal (MFD) nominal entre $8,6 \mu\text{m}$ e $9,5 \mu\text{m}$ em um comprimento de onda de 1310 nanômetros; e, para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, perdas por curvatura menores do que 0.15 dB/curva para um raio de curvatura de 5 milímetros; e

um comprimento de onda de corte de cabo de menos do que ou igual a 1260 nanômetros, medido como o comprimento de onda em que a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB após a propagação através de vinte e dois metros de fibra.

2. Fibra, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pela in-

tegral de superfície do núcleo central (V_{01}), definida como

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1,$$

estar entre $19,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ e $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, de preferência, entre $20,0 \times 10^{-3}$ e $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$.

5 3. Fibra, de acordo com uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizada pela integral de volume da depressão (V_{13}) estar entre $-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ e $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

10 4. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada por ainda compreender um comprimento de onda de corte efetivo λ_{ceff} maior do que 1300 nanômetros, o comprimento de onda de corte efetivo sendo medido como sendo o comprimento de onda no qual o sinal ótico se torna monomodo após a propagação através de dois metros de fibra.

15 5. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada por ainda compreender um comprimento de onda de corte entre 1240 nanômetros e 1310 nanômetros.

20 6. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada por ainda compreender um comprimento de onda de corte teórico menor do que ou igual a 1250 nanômetros, o comprimento de onda de corte teórico sendo o comprimento de onda do qual o modo de LP11 é propagado em um modo vazante.

25 7. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo núcleo central ter um raio (r_1) entre $3,8 \mu\text{m}$ e $4,35 \mu\text{m}$ e/ou em que o núcleo central tem uma diferença de índice (Δn_1) com a casca ótica entre $4,9 \times 10^{-3}$ e $5,7 \times 10^{-3}$.

8. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada pelo revestimento intermediário ter um raio (r_2) compreendido entre $8,5 \mu\text{m}$ e $9,7 \mu\text{m}$

30 9. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada pela depressão ter um raio (r_3) entre $13,5 \mu\text{m}$ e $16 \mu\text{m}$ e/ou a depressão tem uma diferença de índice Δn_3 , com a casca ótica compreendi-

da entre $-10,0 \times 10^{-3}$ e $-5,0 \times 10^{-3}$.

10. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizada por ainda compreender um comprimento de onda de dispersão cromática zero (ZDW) entre 1300 nanômetros e 1324 nanômetros.

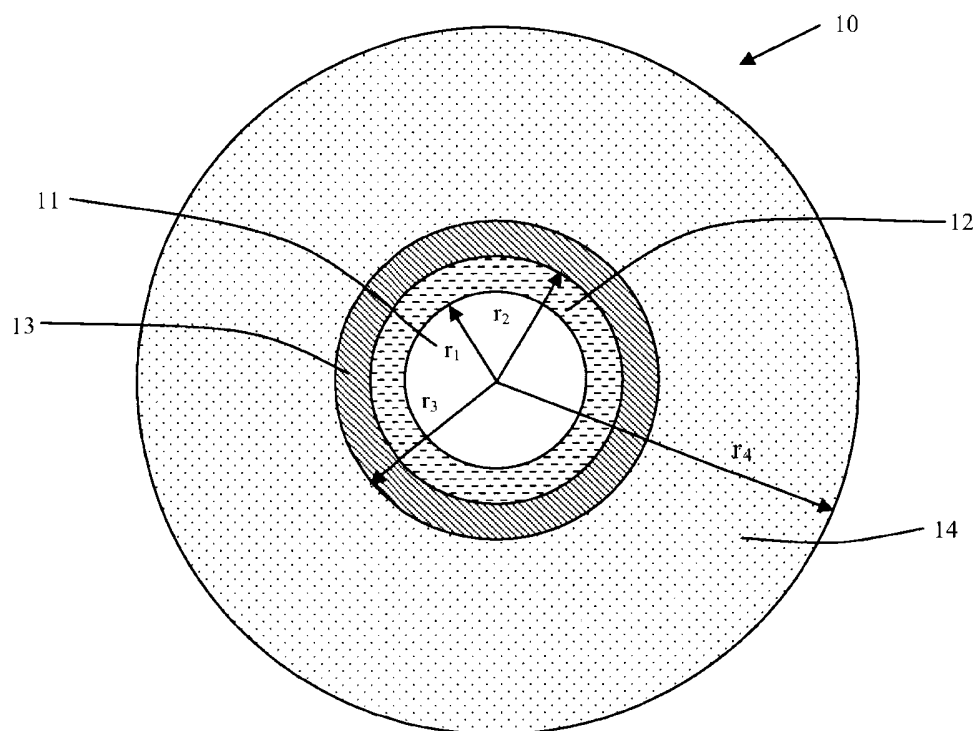
5 11. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizada por ainda compreender um valor de inclinação de dispersão cromática zero no comprimento de onda de dispersão cromática zero (ZDS) menor do que $0,092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$.

10 12. Caixa ótica, caracterizada por receber pelo menos uma porção da fibra ótica, conforme descrita em qualquer uma das reivindicações 1 a 11.

13. Caixa ótica, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pela fibra ter um raio de curvatura menor do que 15 milímetros, de preferência, em que a fibra tem um raio de curvatura de cerca de 5 milímetros.

15 14. Sistema de fibra ótica para a residência do assinante (FTTH), caracterizado por compreender pelo menos uma porção da fibra ótica, conforme definida em qualquer uma ou mais das reivindicações 1 a 11.

FIG. 1



10 – Fibra

11 – Núcleo Central

12 – Revestimento intermediário

13 – Revestimento comprimido

14 – Revestimento ótico externo (índice de refração n_g)

FIG. 2

