



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

**(11) BR 112012018573-0 B1**



**(22) Data do Depósito:** 26/01/2011

**(45) Data de Concessão:** 13/10/2020

**(54) Título:** FIBRA COM ÁREA REAL AMPLA E NÚCLEO ISENTO DE GE

**(51) Int.Cl.:** G02B 6/02; G02B 6/028; G02B 6/036.

**(30) Prioridade Unionista:** 29/01/2010 US 12/696,189.

**(73) Titular(es):** CORNING INCORPORATED.

**(72) Inventor(es):** SCOTT ROBERTSON BICKHAM; DANA CRAIG BOOKBINDER; MING-JUN LI; SNIGDHARAJ KUMAR MISHIRA; DANIEL ALOYSIUS NOLAN; PUSHKAR TANDON.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2011022503 de 26/01/2011

**(87) Publicação PCT:** WO 2011/094256 de 04/08/2011

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 26/07/2012

**(57) Resumo:** FIBRA COM ÁREA REAL AMPLA E NÚCLEO ISENTO DE GE. De acordo com alguns concretizações, uma fibra de guia de ondas ópticas compreende: (i) um núcleo isento de Ge com uma área real de  $90 \text{ (Mi)}\mu\text{m}^2$  a  $160 \text{ (Mi)}\mu\text{m}^2$ , em um comprimento de onda de  $1.550 \text{ nm}$ , e um valor de  $(\text{Alfa})$  onde  $12$ ,  $(\text{Menor igual})$   $(\text{Alfa})$   $(\text{Menor igual})$   $25$ , o referido núcleo compreendendo: (a) uma região de núcleo central, a qual se estende radialmente para fora de uma linha central a um raio  $r$ ? onde  $0 \text{ (Mi)}\mu\text{m}$   $(\text{Menor igual})$   $r$ ?  $(\text{Menor igual})$   $2 \text{ (Mi)}\mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $(\text{Delta})?(r)$  em %, medido em relação à sílica pura onde  $-0,1\%$   $(\text{Menor igual})$   $(\text{Delta})?(r)$   $(\text{Menor igual})$   $0,1 \%$ , em que a região de núcleo central possui um percentual máximo do índice de refração relativo  $(\text{Delta})? \text{ MAX}$ ; (b) uma primeira região de núcleo anelar, a qual circunda e é diretamente adjacente à região de núcleo central, estende-se a um raio externo,  $r1$  onde  $4,8 \text{ (Mi)}\mu\text{m}$   $(\text{Menor igual})$   $r1$   $(\text{Menor igual})$   $10 \text{ (Mi)}\mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $(\text{Delta})1(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, bem como um índice de refração relativo mínimo  $(\text{Delta}) \text{ MIN},(\dots)$ .

**“FIBRA COM ÁREA REAL AMPLA E NÚCLEO ISENTO DE GE”**Referência cruzada a pedidos relacionados

[001] O presente pedido reivindica o benefício de prioridade do pedido dos Estados Unidos de nº de série 12/696.189, depositado no dia 29 de janeiro de 2010.

Campo da invenção

[002] Em termos gerais, a presente invenção refere-se a fibras ópticas e, em especial, a fibras ópticas com área real ampla, núcleo de sílica pura e baixa atenuação.

Fundamento técnico

[003] Normalmente, a tecnologia de amplificação óptica e técnicas de multiplexação por divisão de comprimento de onda são necessárias em sistemas de telecomunicações que propiciam transmissões de alta potência entre longas distâncias. As definições de “alta potência” e “longas distâncias” só fazem sentido no contexto de um sistema de telecomunicações específico em que são especificados uma taxa de bits, uma taxa de bits errados, um esquema de multiplexação e, quiçá, os amplificadores ópticos. Há outros fatores, conhecidos pelos versados na técnica, que influenciam nas definições de “alta potência” e “longa distância”. No entanto, para a maior parte dos fins, a “alta potência” é uma potência óptica superior a 10 mW. Sistemas de alta potência geralmente sofrem de efeitos ópticos não-lineares, incluindo a automodulação de fase, a mistura de quatro ondas, a modulação de fase cruzada e processos de espalhamento não-linear, todos os quais podem causar a degradação dos sinais em sistemas de alta potência. Em algumas aplicações, níveis de potência únicos de 1 mW ou menos continuam sensíveis a efeitos não-lineares, portanto os efeitos não-lineares podem ser de importante consideração ainda nesses sistemas de menor potência. Ademais, outros atributos das fibras ópticas, como a atenuação, constituem um grande fator de contribuição à degradação do sinal.

[004] Em termos gerais, uma fibra de guia de ondas ópticas com

uma área real (Areal) ampla diminui os efeitos ópticos não-lineares, incluindo a automodulação de fase, a mistura de quatro ondas, a modulação de fase cruzada e processos de espalhamento não-linear, todos os quais podem causar a degradação dos sinais em sistemas de alta potência.

[005] Por outro lado, o aumento da área real de uma fibra de guia de ondas ópticas normalmente resulta no aumento das perdas induzidas por macrocurvaturas, atenuando assim a transmissão dos sinais através da fibra. As perdas por macrocurvatura aumentam cada vez mais entre longas (por exemplo, 100 km ou mais) distâncias (ou espaços entre realimentadores, amplificadores, transmissores e/ou receptores). Infelizmente, quanto maior a área real de uma fibra óptica convencional, maiores tendem a ser as perdas induzidas por macrocurvaturas. Além disso, a atenuação pode ser um grande fator de contribuição à degradação dos sinais em fibras com uma área real ampla.

#### Sumário

[006] Uma concretização da invenção consiste em uma fibra de guia de ondas ópticas que compreende:

(i) um núcleo isento de Ge com uma área real de cerca de  $90 \mu\text{m}^2$  a cerca de  $160 \mu\text{m}^2$ , em um comprimento de onda de 1.550 nm, e um valor de  $\alpha$  onde  $12 \leq \alpha \leq 200$ , o referido núcleo compreendendo:

(a) uma região de núcleo central, a qual se estende radialmente para fora de uma linha central a um raio  $r_0$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_0(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, em que a região de núcleo central possui um percentual máximo do índice de refração relativo  $\Delta_{0\text{MAX}}$ ;

(b) uma primeira região de núcleo anelar, a qual circunda e é diretamente adjacente à região de núcleo central, estende-se a um raio externo  $r_1$  onde  $4,8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_1(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, bem como um índice de refração relativo mínimo  $\Delta_{2\text{MIN}}$ , onde o índice de refração relativo medido a um

raio  $r = 2,5 \mu\text{m}$  é:

$$-0,15 \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0 \text{ e } \Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m});$$

(c) uma segunda região anelar dopada com flúor, a qual circunda e é diretamente adjacente à primeira região de núcleo anelar, estende-se a um raio  $r_2$  onde  $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual negativo do índice de refração relativo,  $\Delta_2(r)$  em %, medido em relação à sílica pura,

onde o percentual mínimo do índice de refração relativo  $\Delta_{2\text{MIN}}$  é:

$$\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \text{ e } -0,7\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0,28\%;$$

(ii) um revestimento, o qual circunda o núcleo e possui um percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_3(r)$  em %, medido em relação à sílica,

onde o perfil do índice de refração relativo da fibra óptica é selecionado a fim de conferir uma atenuação menor que 0,175 dB/km no comprimento de onda de 1.550 nm.

[007] De preferência, de acordo com as concretizações descritas neste documento,  $\Delta_3(r) \geq \Delta_{2\text{MIN}}$ . Em algumas concretizações,  $\Delta_3(r) = \Delta_{2\text{MIN}} \pm 0,3\%$ . Ademais, de acordo com ao menos algumas concretizações,  $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ .

[008] De acordo com algumas concretizações exemplificativas, ao menos parte da região do núcleo central é feita de sílica pura.

[009] Outras características e vantagens da invenção serão definidas na descrição detalhada a seguir e, em parte, ficarão evidentes aos versados na técnica com base na referida descrição ou serão reconhecidos mediante a prática da invenção conforme aqui descrita, incluindo a descrição detalhada a seguir, as reivindicações e os desenhos anexos.

[010] Deve-se ter em mente que tanto a descrição geral acima quanto a descrição detalhada abaixo apresentam concretizações da invenção e destinam-se a propiciar uma visão geral ou o contexto para se entender a natureza e o caráter da invenção conforme reivindicada. Os desenhos anexos foram incluídos para possibilitar um melhor entendimento da invenção e

incorporam-se ao presente relatório descritivo e fazem parte dele. Os desenhos ilustram várias concretizações da invenção e, junto com a descrição, servem para explicar seus princípios e operações.

#### Breve descrição dos desenhos

[011] A figura 1A ilustra uma vista em corte transversal de uma concretização da presente invenção;

[012] a figura 1B ilustra esquematicamente um perfil de índice de refração exemplificativo da fibra da figura 1A;

[013] as figuras de 2 a 19 ilustram perfis de índice de refração de concretizações exemplificativas das fibras ópticas da presente invenção;

[014] a figura 20 ilustra os perfis de índice de refração medidos de uma concretização exemplificativa de uma fibra;

[015] a figura 21 ilustra os perfis de índice de refração das concretizações exemplificativas de duas outras fibras;

[016] a figura 22 ilustra a LLWM modelada em relação ao FOM de microcurvatura para fibras na faixa dos exemplos dados na tabela 4;

#### Descrição detalhada

##### Definições

[017] O termo “perfil do índice de refração” refere-se à relação entre o índice de refração, ou índice de refração relativo, e o raio da fibra de guia de ondas.

[018] O “percentual do índice de refração relativo” é definido por  $\Delta\% = 100 \times (n(r)^2 - n_s^2) / 2n(r)^2$ , onde  $n(r)$  é o índice de refração à distância radial  $r$  da linha central da fibra, salvo especificação em contrário, e  $n_s$  é o índice de refração da sílica em um comprimento de onda de 1.550 nm. Conforme usado no presente documento, o índice de refração relativo é representado por  $\Delta$  e seus valores são dados em unidades de “%”, salvo indicação em contrário. Se o índice de refração de uma região for menor que o da sílica, o percentual do índice de refração relativo é negativo (e diz-se que a região possui um índice de refração rebaixado) e calculado no ponto onde o índice de refração relativo

é mais negativo, salvo especificação em contrário. Se o índice de refração de uma região for maior que o da sílica, o percentual do índice de refração relativo é positivo (e diz-se que a região é elevada ou possui um índice positivo) e calculado no ponto onde o índice de refração relativo é mais positivo, salvo especificação em contrário. No presente documento, um “sobredopante” é tido como um dopante propenso a aumentar o índice de refração em relação à  $\text{SiO}_2$  pura não-dopada. No presente documento, um “subdopante” é tido como um dopante propenso a diminuir o índice de refração em relação à  $\text{SiO}_2$  pura não-dopada. Um sobredopante pode se fazer presente em uma região de uma fibra óptica com um índice de refração relativo negativo quando acompanhado por um ou mais outros dopantes que não sejam sobredopantes. À semelhança, um ou mais dopantes que não sejam sobredopantes podem se fazer presentes em uma região de uma fibra óptica com um índice de refração relativo positivo. Um subdopante pode se fazer presente em uma região de uma fibra óptica com um índice de refração relativo positivo quando acompanhado por um ou mais outros dopantes que não sejam subdopantes. À semelhança, um ou mais dopantes que não sejam subdopantes podem se fazer presentes em uma região de uma fibra óptica com um índice de refração relativo negativo.

[019] A “dispersão cromática”, no presente documento chamada apenas de “dispersão”, salvo indicação em contrário, de uma fibra de guia de ondas é a soma da dispersão material, da dispersão da guia de ondas e da dispersão intermodal. No caso de fibras de guia de ondas monomodo, a dispersão intermodal é zero. Os valores de dispersão em um regime bimodal assumem uma dispersão intermodal igual a zero. O comprimento de onda de dispersão zero ( $\lambda_0$ ) é o comprimento de onda no qual a dispersão é igual a zero. O desvio de dispersão é a taxa de mudança na dispersão em relação ao comprimento de onda.

[020] A “área real” é definida como:  $A_{\text{real}} = 2\pi(\int f^2 r \, dr)^2 / (\int f^4 r \, dr)$ , onde os limites de integração são de 0 a  $\infty$ , e  $f$  é o componente transversal do campo elétrico associado à luz propagada na guia de ondas. Conforme usado

no presente documento, o termo “área real” ou “ $A_{\text{real}}$ ” refere-se à área óptica real em um comprimento de onda de 1.550 nm, salvo menção em contrário.

[021] O termo “perfil  $\alpha$ ” refere-se a um perfil do índice de refração relativo, expresso em termos de  $\Delta(r)$  em “%”, onde  $r$  é o raio, que segue a equação  $\Delta(r) = \Delta(r_0)(1-[|r-r_0|/(r_1-r_0)]^\alpha)$ , em que  $r_0$  é o ponto onde  $\Delta(r)$  é máximo,  $r_1$  é o ponto onde  $\Delta(r)\%$  é zero, e  $r$  encontra-se na faixa de  $r_i \leq r \leq r_f$ , onde  $\Delta$  é definido acima,  $r_i$  é o ponto inicial do perfil  $\alpha$ ,  $r_f$  é o ponto final do perfil  $\alpha$ , e  $\alpha$  é um expoente que é um número real.

[022] O diâmetro do campo modal (MFD) é medido usando o método de Petermann II, onde  $2w = \text{MFD}$  e  $w^2 = (2[f^2 r dr]/[df/dr]^2 r dr)$ , os limites inteiros sendo de 0 a  $\infty$ .

[023] A resistência à curvatura de uma fibra de guia de ondas pode ser estimada pela atenuação induzida em condições de teste predeterminadas.

[024] Um tipo de teste de curvatura é o teste de microcurvatura de carga lateral. Neste chamado teste de “carga lateral”, um comprimento predeterminado da fibra de guia de ondas é disposto entre duas placas planas. Liga-se uma malha de fios #70 a uma das placas planas. Um comprimento da fibra de guia de ondas conhecido é disposto entre as placas e uma atenuação de referência medida enquanto as placas são pressionadas uma contra a outra com uma força de 30 newtons. Em seguida, aplica-se uma força de 70 newtons às placas e mede-se o aumento na atenuação em dB/m. O aumento na atenuação corresponde à atenuação da malha de fios de carga lateral (LLWM) da guia de ondas.

[025] O teste de curvatura de uma “matriz de pinos” é usado para comparar a resistência relativa da fibra de guia de ondas a uma curvatura. Para realizar este teste, mede-se a perda por atenuação de uma fibra de guia de ondas essencialmente sem nenhuma perda induzida por curvatura. Em seguida, enrola-se a fibra de guia de ondas em torno da matriz de pinos e mede-se a atenuação mais uma vez. A perda induzida por curvatura é a

diferença entre as duas atenuações medidas. Uma matriz de pinos consiste em um conjunto de dez pinos cilíndricos ordenados em fila única e mantidos em uma posição vertical fixa sobre uma superfície plana. O espaçamento entre pinos é de 5 mm de centro a centro. O diâmetro dos pinos é de 0,67 mm. Durante o teste, aplica-se tensão o suficiente para fazer com que a fibra de guia de ondas conforme-se a parte da superfície com pinos.

[026] O comprimento de onda de corte teórico da fibra, ou “corte teórico da fibra”, ou ainda “corte teórico”, para dado modo, é o comprimento de onda acima do qual a luz guiada não se propaga no modo em questão. Podemos encontrar uma definição matemática em “*Single Mode Fiber Optics*”, Jeunhomme, p. 39 a 44, Marcel Dekker, Nova York, 1990, onde o corte teórico da fibra é tido como o comprimento de onda no qual a constante de propagação modal torna-se igual à constante de propagação de ondas planas no revestimento externo.

[027] O corte real da fibra é menor que o corte teórico devido às perdas induzidas por curvatura e/ou pressão mecânica. Neste contexto, o corte refere-se ao maior dos modos LP<sub>11</sub> e LP<sub>02</sub>. Geralmente, LP<sub>11</sub> e LP<sub>02</sub> não são distinguidos nas medidas, mas ambos são evidentes como degraus na medição espectral (ao usar a técnica de referência multimodo), isto é, nenhuma potência é observada no modo em comprimentos de onda maiores do que o corte medido. O corte real da fibra pode ser medido por um teste de corte de fibra de 2 m padrão, FOTP-80 (EIA-TIA-455-80), a fim de se obter o “comprimento de onda de corte da fibra”, também conhecido como “corte de fibra de 2 m” ou “corte medido”. Realiza-se o teste padrão FOTP-80 a fim de eliminar os modos de ordem mais elevada usando-se uma quantidade controlada de curvatura ou a fim de normalizar a resposta espectral da fibra à de uma fibra multimodo.

[028] Normalmente, o comprimento de onda de corte de uma fibra cabeada, ou “corte de cabo”, é menor que o corte de fibra medido devido a maiores níveis de curvatura e pressão mecânica no ambiente do cabo. A



condição cabeada real pode ser estimada pelo teste de corte cabeado descrito nos Procedimentos de Teste de Fibras Ópticas EIA-445, que fazem parte das Normas para Fibras Ópticas EIA-TIA, ou seja, as Normas para Fibras Ópticas da Associação das Indústrias Eletrônicas - Setor de Telecomunicações, conhecidas mais comumente como FOTPs. A medição do corte de cabo é descrita em “EIA-455-170 *Cable Cutoff Wavelength of Single-mode Fiber by Transmitted Power*” (Comprimento de onda de corte em fibra monomodo cabeada por potência transmitida) ou “FOTP-170”. Salvo menção em contrário, as propriedades ópticas (como dispersão, desvio de dispersão etc.) são dadas para o modo LP01.

[029] Um elo de telecomunicações de fibras de guia óptica, ou simplesmente elo, é composto por um transmissor de sinais luminosos, um receptor de sinais luminosos e um comprimento de uma ou mais fibras de guia de ondas com as respectivas extremidades conectadas opticamente ao transmissor e ao receptor para propagar sinais luminosos entre eles. O comprimento da fibra de guia de ondas pode ser composto por vários comprimentos menores que são entrançados ou conectados em série, extremidade com extremidade. Um elo pode incluir componentes ópticos adicionais, como amplificadores ópticos, atenuadores ópticos, isolantes ópticos, chaves ópticas, filtros ópticos ou dispositivos de multiplexação ou demultiplexação. Podemos chamar um conjunto de elos interconectados de sistema de telecomunicações.

[030] O termo “extensão de fibra óptica”, conforme usado no presente documento, inclui um comprimento de fibra óptica, ou várias fibras ópticas ligadas em série, que se estende entre dispositivos ópticos, por exemplo, entre dois amplificadores ópticos, ou entre um dispositivo de multiplexação e um amplificador óptico. Uma extensão pode compreender uma ou mais seções de fibras ópticas conforme relevadas neste documento e pode compreender ainda uma ou mais seções de outras fibras ópticas, por exemplo, conforme escolhidas a fim de atingir um parâmetro ou desempenho de sistema

desejado, tal como a dispersão residual na extremidade de uma extensão.

#### Concretizações da invenção

[031] A partir de agora, faremos referência em detalhes às concretizações preferidas da presente invenção, cujos exemplos são ilustrados nos desenhos anexos. Sempre que possível, utilizaremos os mesmos números de referência ao longo dos desenhos para nos referir às mesmas partes ou a partes semelhantes. A figura 1A ilustra uma concretização da fibra óptica da presente invenção, a qual é indicada como um todo pelo número de referência 10. A fibra de guia de ondas 10 inclui um núcleo 12, o qual possui uma área real de cerca de  $90 \mu\text{m}^2$  ou mais em um comprimento de onda de 1.550 nm (por exemplo, de  $90 \mu\text{m}^2$  a  $160 \mu\text{m}^2$ , de  $100 \mu\text{m}^2$  a  $160 \mu\text{m}^2$  ou de  $120 \mu\text{m}^2$  a  $140 \mu\text{m}^2$  em um comprimento de onda de 1.550 nm) e um valor de  $\alpha$  onde  $12 \leq \alpha \leq 200$  (por exemplo,  $12 \leq \alpha \leq 100$  ou  $12 \leq \alpha \leq 25$ ), e um revestimento 20, o qual circunda o núcleo. Uma faixa típica de valores de  $\alpha$  nas fibras exemplificativas descritas neste documento é de 14 a 20, por exemplo,  $15 \leq \alpha \leq 17$ . No entanto, maiores valores de  $\alpha$  (por exemplo,  $> 25$ ) podem ser atingidos por deposição de vapor químico em plasma (PCVD). O perfil de índice de refração exemplificativo (delta do índice de refração relativo x raio) desta fibra é ilustrado esquematicamente na figura 1B.

[032] O núcleo 12 é isento de Ge e compreende uma região de núcleo central 14, uma primeira região de núcleo anelar 16, a qual circunda e é diretamente adjacente à região de núcleo central 14, e uma segunda região anelar 18, a qual circunda e é diretamente adjacente à primeira região anelar 16. A região de núcleo central 14 estende-se radialmente para fora de uma linha central a um raio  $r_0$ , onde  $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ , e possui um perfil percentual do índice de refração relativo  $\Delta_0(r)$ , medido em % em relação à sílica pura, onde  $-0,1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0,15$ . Em algumas concretizações,  $-0,1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0,1\%$ . Em algumas concretizações,  $-0,1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0\%$ . Por exemplo, em algumas concretizações,  $-0,075\% \leq \Delta_0(r) \leq 0\%$ . A região de núcleo central 14 apresenta um percentual máximo do índice de refração relativo  $\Delta_{0\text{MAX}}$ . Nas concretizações

exemplificativas descritas neste documento,  $\Delta_{0MAX}$  ocorre na linha central da fibra ( $r = 0$ ).

[033] A primeira região de núcleo anelar 16 estende-se a um raio externo  $r_1$ , onde  $4,8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$ , e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_1(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, bem como um índice de refração relativo mínimo  $\Delta_{1MIN}$ , um índice de refração relativo máximo  $\Delta_{1MAX}$  (onde  $\Delta_{0MAX} \geq \Delta_{1MAX}$ ), onde o índice de refração relativo  $\Delta_1$  medido a um raio  $r = 2,5 \mu\text{m}$  é: (a)  $-0,15 \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0$ , e (b)  $\Delta_{0MAX} \geq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$ . Em algumas concretizações,  $\Delta_{1MAX} = \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$ .

[034] A segunda região de núcleo anelar 18 é dopada com flúor, bem como circunda e é diretamente adjacente à primeira região anelar 16. Normalmente, de acordo com as concretizações descritas neste documento, a segunda região de núcleo anelar 18 possui de 0,1% em peso a 2% em peso de flúor, por exemplo, de 0,1% em peso a 1,6% em peso ou de 0,4% em peso a 2% em peso de flúor.

[035] A segunda região de núcleo anelar 18 estende-se a um raio  $r_2$ , onde  $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$ , e possui um perfil percentual negativo do índice de refração relativo,  $\Delta_2(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, onde o percentual mínimo do índice de refração relativo  $\Delta_{2MIN}$  é: (a)  $\Delta_{2MIN} < \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$  e/ou  $\Delta_{2MIN} < \Delta_{1MAX}$ , e (b)  $-0,7\% \leq \Delta_{2MIN} \leq -0,27\%$ .  $\Delta_2(r)$  também apresenta um percentual máximo do índice de refração relativo  $\Delta_{2MAX}$  onde  $\Delta_{2MAX} < \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$  e  $\Delta_{2MAX} \geq \Delta_{2MIN}$ . Em algumas concretizações,  $-0,5\% < \Delta_{2MIN} < -0,27\%$ . Por exemplo,  $\Delta_{2MIN}$  pode ser -0,29%, -0,3%, -0,35%, -0,38%. Por exemplo,  $\Delta_{2MIN}$  pode ser -0,29%, -0,3%, -0,35%, -0,38%, -0,4%, -0,47%, -0,5% ou qualquer valor entre esses. Em outras concretizações,  $-0,4\% < \Delta_{2MIN} < -0,27\%$ .

[036] Vale frisar que, em casos em que a segunda região de núcleo anelar 18 possui um perfil do índice de refração relativamente estável,  $\Delta_{2MAX} - \Delta_{2MIN} < 0,03\%$ , o raio  $r_1$  é definido a fim de corresponder ao valor do ponto médio entre  $\Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$  e o primeiro instante quando a segunda região anelar atinge  $\Delta_{2MIN}$ . Ou seja,  $r_1$  é um raio onde  $\Delta(r) = [\Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$

$+\Delta_{2\text{MIN}}]/2$ . À semelhança, o raio externo  $r_2$  da região de núcleo anelar 18 é definido a fim de corresponder ao valor do ponto médio entre  $\Delta_{2\text{MIN}}$  e o primeiro instante quando  $\Delta_3 = \Delta_{3\text{MAX}}$ . Ou seja,  $r_2$  é um raio onde  $\Delta(r) = [\Delta_{2\text{MIN}} + \Delta_{3\text{MAX}}]/2$ . Vale frisar que, em casos em que a segunda região de núcleo anelar 18 não possui um perfil do índice de refração relativamente estável, isto é,  $\Delta_{2\text{MAX}} - \Delta_{2\text{MIN}} \geq 0,03\%$ , e em que  $\Delta_2$  atinge seu  $\Delta_{2\text{MIN}}$  mais perto do revestimento, o raio  $r_1$  é definido a fim de corresponder ao valor do ponto médio entre  $\Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m})$  e o primeiro instante quando a segunda região anelar atinge  $\Delta_{2\text{MAX}}$ . Ou seja,  $r_1$  é um raio onde  $\Delta(r) = [\Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) + \Delta_{2\text{MAX}}]/2$ . O raio  $r_2$  continua sendo definido a fim de corresponder ao valor do ponto médio entre  $\Delta_{2\text{MIN}}$  e o primeiro instante quando a segunda região anelar atinge  $\Delta_{3\text{MAX}}$ , ou seja,  $r_2$  é um raio onde  $\Delta(r) = [\Delta_{2\text{MIN}} + \Delta_{3\text{MAX}}]/2$ .

[037] Em algumas concretizações, a razão  $r_2/r_1$  é entre 2 e 6. De preferência, a razão  $r_2/r_1$  é tal que  $2,1 \leq r_2/r_1 \leq 5,75$ , por exemplo,  $2,15 \leq r_2/r_1 \leq 5,7$ . De preferência,  $r_2 \leq 30 \mu\text{m}$ , por exemplo,  $14 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 29 \mu\text{m}$ . Para dados  $\Delta_2$  e  $\Delta_3$ , se a razão  $r_2/r_1$  for pequena (por exemplo, porque  $r_1$  é grande), o MFD torna-se grande,  $\lambda_0$  torna-se pequeno e a dispersão D em 1.550 nm torna-se grande. Se a razão  $r_2/r_1$  for muito grande, o MFD pode se tornar muito pequeno,  $\lambda_0$  mover-se para comprimentos de onda mais altos e a dispersão D em 1.550 nm tornar-se pequena.

[038] O revestimento 20 circunda o núcleo 12 e possui um percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_3(r)$  em %, medido em relação à sílica pura onde  $\Delta_3(r) \geq \Delta_{2\text{MIN}}$ .

[039] Em algumas concretizações exemplificativas, o núcleo 12 e o revestimento 20 incluem F como subdopante. Nessas concretizações, a quantidade de F presente nas regiões de núcleo anelares primeira 16 e segunda 18 é maior que a quantidade de flúor presente na região de núcleo central 14. Em algumas concretizações exemplificativas, o núcleo 12 também inclui ao menos um dopante óxido de metal alcalino, por exemplo, onde o álcali é K, Na, Li, Cs ou Rb. Em algumas concretizações exemplificativas, o núcleo

12 contém  $K_2O$  com quantidades de 20 ppm a 1.000 ppm em peso de K. A fibra 10 também pode incluir cloro. É preferível que a quantidade de cloro seja maior que 500 ppm em peso no núcleo 12 e maior que 10.000 ppm em peso no revestimento 20. Vale frisar que o termo “ppm”, salvo especificação em contrário, significa partes por milhão em peso, ou ppm em peso, e uma medida de % em peso pode ser convertida para ppm multiplicando-a por um fator de 10.000.

[040] O perfil do índice de refração relativo da fibra óptica 10 é selecionado a fim de conferir uma atenuação que não ultrapasse 0,175 dB/km em um comprimento de onda  $\lambda$  de 1.550 nm, por exemplo, de 0,145 dB/km a 0,175 dB/km em um comprimento de onda  $\lambda$  de 1.550 nm. Os valores de atenuação podem ser de 0,145 dB/km a 0,17 dB/km ou de 0,15 dB/km a 0,165 dB/km, ou, por exemplo, de 0,15 dB/km, 0,155 dB/km, 0,16 dB/km, 0,165 dB/km, 0,165 dB/km ou 0,17 dB/km em um comprimento de onda  $\lambda$  de 1.550 nm.

#### Exemplos de 1 a 15

[041] A invenção será mais bem entendida com base nos exemplos a seguir.

[042] As tabelas 1 e 2 listam características de exemplos de 1 a 15 de um conjunto ilustrativo de concretizações de fibras. As figuras de 2 a 16 ilustram os perfis de índice de refração correspondentes aos exemplos de 1 a 15, respectivamente. Nas concretizações de fibras ópticas dos exemplos de 1 a 15,  $-0,5\% \leq \Delta_0 \leq 0\%$  e  $\Delta_{0max} \leq 0\%$ ;  $-0,065\% \leq \Delta_1(r = 2,5\mu m) \leq 0\%$ ,  $-0,065\% \leq \Delta_{1max} \leq 0,0\%$ ,  $-0,5\% \leq \Delta_{2MIN} \leq -0,27\%$ ,  $-0,4\% \leq \Delta_3 \leq -0,2\%$ , e  $r_2/r_1$  é  $2,17 \leq r_2/r_1 \leq 5,7$  e  $r_2 < 30$ . No entanto, vale frisar que, em outras concretizações,  $\Delta_0$  pode ser um pouco maior ou menor que 0% (em relação à sílica), dependendo de se há sobredopantes ou subdopantes na região de núcleo central 14. Embora algumas concretizações das fibras ópticas 10 apresentem valores de  $\alpha$  entre 12 e 25, as concretizações de fibras ópticas dos exemplos de 1 a 9 apresentam valores de  $\alpha$  na faixa de 13 a 15. As concretizações de fibras

ópticas dos exemplos de 10 a 15 apresentam valores de  $\alpha$  de cerca de 20.

[043] A tabela 1A resume os parâmetros de perfil modelado dessas fibras exemplificativas. Os valores para  $r_3$  correspondem ao diâmetro externo do revestimento e, nesses exemplos,  $r_3$  foi de 62,5  $\mu\text{m}$ . Em algumas fibras exemplificativas,  $\Delta_2(\%) = \Delta_3(\%)$ . Sendo assim, como nessas concretizações não há mudança óbvia no índice entre as regiões de núcleo anelares 16 e 18, o valor de  $r_2$  é dado como dentro de uma faixa específica.

Tabela 1

Ex.	$\Delta_{0\text{MAX}}$ (%)	$r_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta_{1\text{MAX}}$ (%)	$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta_{2\text{Max}}$ (%)	$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta_3$ (%)	$r_2/r_1$	
1	0	0	0,000	5,25	-0,300	15-26	-0,300	2,86 4,95	a
2	0	0	0,000	6,20	-0,290	25	-0,260	4,03	
3	0	0	0,000	7,38	-0,412	16	-0,213	2,17	
4	0	0	0,000	7,38	-0,412	28	-0,213	3,80	
5	0	0	0,000	7,10	-0,382	18	-0,225	2,54	
6	0	0	0,000	7,10	-0,382	16-26	-0,382	2,25 3,66	a
7	0	0	0,000	5,00	-0,292	16-26	-0,292	3,20 5,20	a
8	0	0	0,000	5,00	-0,302	28,5	-0,292	5,70	
9	0	0	0,000	4,90	-0,315	16-26	-0,315	3,26 5,31	a
10	0	1,40	-0,064	5,63	-0,301	20,5	-0,315	3,64	
11	0	1,92	-0,062	8,15	-0,400	24,8	-0,260	3,04	
12	0	1,12	-0,062	7,40	-0,470	26	-0,280	3,51	
13	0	1,30	-0,062	5,60	-0,380	22	-0,350	3,93	
14	0	1,40	-0,063	6,20	-0,380	19,6	-0,340	3,16	
15	0	1,00	-0,061	5,00	-0,401	20	-0,380	4,00	

[044] Nessas 15 concretizações exemplificativas, os núcleos 12 são à base de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e dopados com flúor. A tabela a seguir dá as quantidades de flúor, F, em porcentagem em peso (% em peso) para as regiões de núcleo 16 e 18 e para o revestimento 20.

Tabela 2

Ex.	% em peso de F na região 16	% em peso de F na região 18	% em peso de F na região 20
1	0,00	-1,00	-1,00
2	0,00	-0,97	-0,87
3	0,00	-1,37	-0,71
4	0,00	-1,37	-0,71
5	0,00	-1,27	-0,75
6	0,00	-1,27	-1,27
7	0,00	-0,97	-0,97
8	0,00	-1,01	-0,97
9	0,00	-1,05	-1,05
10	-0,21	-1,00	-1,05
11	-0,21	-1,33	-0,87
12	-0,21	-1,57	-0,93
13	-0,21	-1,27	-1,17
14	-0,21	-1,27	-1,13
15	-0,20	-1,34	-1,27

[045] Vale frisar que, nas concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 1 a 9 na tabela 1,  $\Delta_{0MAX} = \Delta_{1MAX}$ , e a composição da região de núcleo central 14 e da primeira região anelar 16 (até a seção de cotovelo no gráfico associada à transição à segunda região anelar 18) são idênticas (vide as figuras de 2 a 10). Sendo assim, como nos exemplos de 1 a 9 não há uma transição clara entre as regiões de núcleo 14 e 16, embora a tabela 1 especifique que  $r_0$  é igual a 0  $\mu\text{m}$ , também poderíamos dizer que  $r_0 = 2 \mu\text{m}$ . Nessas fibras exemplificativas,  $\Delta_{0MAX}$  é igual a 0, pois a região de núcleo 14 (e ao menos parte da primeira região anelar 16) é de sílica pura.

[046] Mais especificamente, as concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 2 a 5 na tabela 1 (vide as figuras de 3 a 6) incluem um perfil de índice de refração do núcleo com uma região de núcleo

central 14 circundada pela primeira região de núcleo anelar 16 que possui um índice de refração  $\Delta_0 = \Delta_1$ , que, por sua vez, é circundada por uma região de fosso correspondente à segunda região de núcleo anelar 18 com índice de refração  $\Delta_{2MIN}$ . Este fosso (segunda região de núcleo anelar 18) é circundado pelo revestimento 20 com índice de refração  $\Delta_3 > \Delta_{2MIN}$ . Nas concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 1 a 5,  $-0,38\% \leq \Delta_3 \leq -0,26\%$ ;  $-0,412\% \leq \Delta_2 \leq -0,290\%$ .

[047] As concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 6 a 9 na tabela 1 incluem um perfil de índice de refração do núcleo com uma região de núcleo central 14 de sílica pura cercada pela primeira região de núcleo anelar 16 (de sílica pura) com um índice de refração relativo  $\Delta_0 = \Delta_1 = 0$ . Nessas fibras exemplificativas, a primeira região de núcleo anelar 16 é circundada pela segunda região de núcleo anelar 18 com um índice de refração relativo  $\Delta_2 < \Delta_1$ . A segunda região de núcleo anelar 18 com um índice de refração relativo  $\Delta_2$  é circundada por um revestimento 20 com índice de refração  $\Delta_3 = \Delta_2$ . Nas concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos 6, 7 e 9, as composições da segunda região de núcleo anelar 18 e do revestimento 20 são idênticas. No entanto, em outras concretizações (vide, por exemplo, os parâmetros de fibra óptica do exemplo 9), as composições da segunda região anelar 18 e do revestimento 20 podem não ser idênticas, isto é,  $\Delta_3 \neq \Delta_{2MIN}$  ou  $\Delta_3 > \Delta_{2MIN}$ . Nas concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 6 a 9,  $-0,382\% \leq \Delta_3 \leq -0,292\%$  e  $-0,382\% \leq \Delta_3 \leq -0,315\%$ . As concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 10 a 15 na tabela 1 (vide as figuras de 11 a 16) incluem um perfil de índice de refração do núcleo com uma região de núcleo central 14 de sílica pura com um índice de refração relativo  $\Delta_{0MAX} = 0$  cercada por uma primeira região de núcleo anelar 16. A primeira região anelar 16 apresenta um índice de refração relativo  $\Delta_1$  onde  $-0,1\% < \Delta_1 \leq 0\%$  e é circundada por uma região de fossa correspondente à segunda região de núcleo anelar 18 com índice de refração  $\Delta_{2MIN}$ . Nas concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 10 a 15, a



segunda região de núcleo anelar 18 apresenta  $-0,5\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0,27\%$ , por exemplo,  $\Delta_{2\text{MIN}}$  pode ser -0,29, -0,3, -0,35, -0,38, -0,4, -0,47 ou qualquer valor entre esses. O fosso (segunda região de núcleo anelar 16) é circundado por uma terceira região de núcleo anelar 18 com índice de refração  $\Delta_3 > \Delta_{2\text{MIN}}$ . Nas concretizações de fibras ópticas correspondentes aos exemplos de 10 a 15,  $-0,38\% \leq \Delta_3 \leq -0,26\%$ .

[048] Algumas das concretizações de fibras ópticas apresentam os valores modelados a seguir: comprimento de onda de corte da fibra  $\lambda_c$  entre 1.321 nm e 1.580 nm, área real  $A_{\text{real}}$  em 1.550 nm onde  $90 \mu\text{m}^2 \leq A_{\text{real}} \leq 160 \mu\text{m}^2$ , dispersão  $D$  em 1.550 nm entre 18 ps/nm/km e 25 ps/nm/km, mais preferencialmente entre 19 ps/nm/km e 23,5 ps/nm/km, e atenuação em 1.550 nm menor que 0,175 dB/km, por exemplo, entre 0,165 dB/km e 0,175 dB/km. As fibras exemplificativas da tabela 1 foram modeladas e os atributos ópticos modelados são listados nas tabelas 2A e 2B.

Tabela 2A

Ex.	1	2	3	4	5	6	7	8
Dispersão em 1.310 nm (ps/nm/km)	2,91	3,87	5,17	5,19	4,99	4,99	2,32	2,49
Desvio de dispersão em 1.310 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0,0869	0,0888	0,0908	0,0909	0,0906	0,0906	0,0862	0,0862

Ex.	1	2	3	4	5	6	7	8
MFD em 1.310 nm, mícrons	10,35	11,27	11,71	11,71	11,60	11,60	10,21	10,13
Dispersão em 1.550 nm (ps/nm/km)	19,87	21,24	22,99	23,07	22,77	22,78	19,13	19,30
Desvio de dispersão em 1.550 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0,0591	0,0607	0,0622	0,0627	0,0622	0,0623	0,0585	0,0586
LP11, nm	1.498	1.497	1.388	1.387	1.411	1.411	1.402	1.352
LP02, nm	948	927	896	896	906	906	888	832
Matriz de pinos em 1.550 nm, dB	8,43	11,49	30,29	10,56	20,08	9,25	16,56	15,94
Carga lat em 1.550 nm, dB	1,13	2,55	7,17	2,72	4,58	2,25	1,61	1,28
A <sub>real</sub> em 1.310 nm, $\mu\text{m}^2$	86,4	105,1	120,1	120,1	116,7	116,7	83,0	81,9

Ex.	1	2	3	4	5	6	7	8
$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm, $\mu\text{m}^2$	103,75	122,02	132,33	132,23	129,54	129,52	101,71	99,76
MFD em 1.550 nm, $\mu\text{m}$	11,52	12,33	12,45	12,44	12,39	12,39	11,48	11,35
Dispersão em 1.625 nm (ps/nm/km)	24,13	25,62	27,48	27,59	27,26	27,28	23,35	23,53
Atenuação em 1.550, dB/km	0,170	0,169	0,167	0,167	0,168	0,168	0,170	0,170
Comprimento de onda de corte da fibra ( $\lambda_c$ ), nm	1.538	1.537	1.428	1.427	1.451	1.451	1.442	1.392
Lambda 0 ( $\lambda_0$ ), nm	1.276,5	1.266,5	1.253,1	1.253,0	1.254,9	1.254,9	1.283,0	1.281,2

Tabela 2B

Ex.	9	10	11	12	13	14	15
-----	---	----	----	----	----	----	----

Ex.	9	10	11	12	13	14	15
Dispersão em 1.310 nm (ps/nm/km)	2,42	2,84	5,05	5,38	3,57	4,21	3,05
Desvio de dispersão em 1.310 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0,0860	0,0873	0,0910	0,0906	0,0870	0,0883	0,0858
MFD em 1.310 nm, $\mu\text{m}$	9,91	11,17	12,81	11,64	10,22	10,78	9,64
Dispersão em 1.550 nm (ps/nm/km)	19,16	19,95	22,98	23,20	20,55	21,49	19,76
Desvio de dispersão em 1.550 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0,0583	0,0600	0,0629	0,0625	0,0591	0,0603	0,0581
LP11, nm	1.281	1.526	1.536	1.424	1.403	1.506	1.373
LP02, nm	793	991	1.006	932	880	947	857
Matriz de pinos em 1.550 nm, dB	18,99	20,13	14,63	9,35	8,17	5,70	5,67
Carga lat. em 1.550 nm, dB	1,14	4,75	25,59	2,52	0,77	0,96	0,42
A <sub>real</sub> em 1.310 nm, $\mu\text{m}^2$	78,43	99,03	141,02	117,86	84,89	96,06	74,89
A <sub>real</sub> em 1.550 nm, $\mu\text{m}^2$	95,55	120,80	156,69	130,26	100,42	111,21	89,86
MFD em 1.550 nm, $\mu\text{m}$	11,11	12,50	13,62	12,37	11,28	11,76	10,72
Dispersão em 1.625 nm (ps/nm/km)	23,37	24,29	27,53	27,71	24,81	25,84	23,96
Atenuação em 1.550, dB/km	0,170	0,173	0,171	0,171	0,173	0,172	0,174

Ex.	9	10	11	12	13	14	15
Comprimento de onda de corte da fibra ( $\lambda_c$ ), nm	1.321	1.566	1.576	1.464	1.443	1.546	1.413
Lambda 0 ( $\lambda_0$ ), nm	1.281, 9	1.277, 4	1.254, 5	1.250, 6	1.268, 9	1.262, 3	1.274, 4

[049] Nas tabelas 2A e 2B, os termos “desvio em 1.310 nm” e “desvio em 1.550 nm” significam o desvio de dispersão em unidades de ps/nm<sup>2</sup>/km nos comprimentos de onda de 1.310 nm e 1.550 nm, respectivamente; “MFD em 1.310 nm” e “MFD em 1.550 nm” significam os diâmetros do campo modal em microns nos comprimentos de onda de 1.310 nm e 1.550 nm, respectivamente; “A<sub>real</sub> em 1.310 nm” e “A<sub>real</sub> em 1.550 nm” significam a área real da fibra em microns quadrados nos comprimentos de onda de 1.310 nm e 1.550 nm, respectivamente; “dispersão em 1.625 nm” significa dispersão em unidades de ps/nm/km no comprimento de onda de 1.625 nm, “atenuação em 1.550 nm” significa a atenuação no comprimento de onda de 1.550 nm em dB/km, e o termo “Lambda 0” ou “ $\lambda_0$ ” significa o comprimento de onda de dispersão zero em nm.

#### Exemplos de fibra de 16 a 23

[050] Os perfis de índice de refração modelados de duas concretizações da fibra óptica 10 da presente invenção (exemplos de fibra 16 e 17) são ilustrados na figura 17. Essas fibras ópticas incluem um núcleo 12, a qual possui uma área real de cerca de 110  $\mu\text{m}^2$  em 1.550 nm de comprimento de onda, e um revestimento 20, o qual circunda o núcleo. O núcleo 12 inclui uma região de núcleo central 14 de sílica pura, a qual se estende radialmente para fora de uma linha central a um raio  $r_0$ , onde  $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ , e uma primeira região de núcleo anelar 16, a qual se estende ao raio externo  $r_1$ , onde  $r_1$  é de cerca de 5  $\mu\text{m}$ . A segunda região anelar 18 circunda a primeira região

anelar 16 e é subdopada em relação a ela. A segunda região anelar estende-se ao raio externo  $r_2$ , onde  $r_2$  é de cerca de 17  $\mu\text{m}$ , no exemplo de fibra 16, e de cerca de 25  $\mu\text{m}$ , no exemplo de fibra 17. A tabela 3A abaixo lista os parâmetros ópticos dos exemplos de fibra 16 e 17.

Tabela 3A: Parâmetros ópticos dos exemplos de fibra 16 e 17

Ex.	$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm, $\mu\text{m}^2$	Dispersão em 1.550 nm (ps/nm/km)	Corte de 2 m (nm)	Matriz de pinos em 1.550 nm (macro-curvatura), dB	Carga lat. de micro-curvatura em 1.550 nm (dB/km)	Atenuação em 1.550 (dB/km)
16	110	18,4	1.400	41,99	4,98	< 0,170
17	110	18,5	1.426	83,24	11,47	< 0,170

[051] A tabela 3B abaixo lista característica dos exemplos de fibra de 18 a 21 de outro conjunto ilustrativo de concretizações de fibras.

Tabela 3B: Exemplos de fibra de 18 a 21

Parâmetro	Ex. 18	Ex. 19	Ex. 20	Ex. 21
$\Delta_0$ max (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
$\Delta_1$ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
$r_0$ (mícrons)	0,0	0,0	0,0	0,0
Raio externo da primeira região de núcleo anelar $r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	5,5	6,3	6,3	6,5
Alfa do núcleo	100	100	100	100
$\Delta_2$ min (%)	-0,25	-0,27	-0,25	-0,25
$\Delta_3$ min (%)	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2

Parâmetro	Ex. 18	Ex. 19	Ex. 20	Ex. 21
Fim da segunda região de núcleo anelar $r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	27	27	27	27
Dispersão em 1.550 nm (ps/nm/km)	19,4	20,8	20,6	20,8
Desvio de dispersão em 1.550 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0,06	0,061	0,061	0,062
$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	119	129	134	138
MFD em 1.550 nm ( $\mu\text{m}$ )	12,36	12,64	12,93	13,1
Carga lat. em 1.550 nm (dB/km)	7	7	11	13
Carga lat. em 1.550 nm (dB)	107	54	58	51
Corte de 2 m (nm)	1.134	1.260	1.290	1.337
Atenuação em 1.550 nm (dB/km)	<0,175	<0,175	<0,175	<0,175

[052] A figura 18 ilustra o perfil do índice de refração do exemplo de fibra 22 (fabricado). Esta fibra apresentou uma  $A_{\text{real}}$  medida de  $110 \mu\text{m}^2$  e sua atenuação foi de 0,167 dB/km em 1.550 nm. As tabelas a seguir (4a e 4b) listam parâmetros ópticos do exemplo de fibra 22.

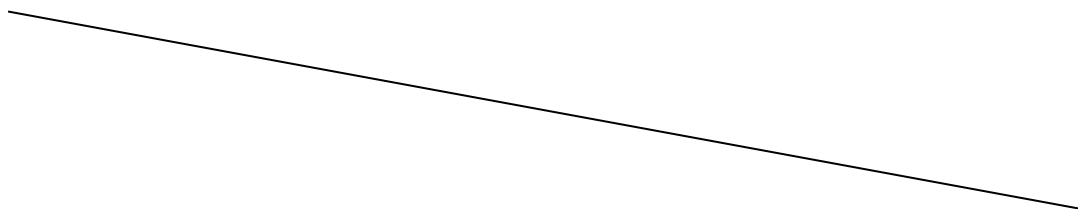


Tabela 4a

MF D em 1.550 nm ( $\mu\text{m}$ )	$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	Disp. em 1.550 (ps/nm/ km)	Desvio de disp. em 1.550 nm (ps/nm <sup>2</sup> / km)	Cort e de 2 m (nm)	Macro - curva- tura de 1 x 32 mm (dB/ volta)	Carga lat. de micro- curva- tura em 1.550 nm (dB/km)	At. em 1.550 (dB/km)	At. em 1.570 (dB/km)
12,08	116	20,47	0,06	1.545	0,007	0,47	0,164	0,162

Tabela 4b: Propriedades ópticas previstas

Matriz de pinos em 1.550 nm (dB)	Carga lat. em 1.550 nm (dB/km)
16,38	1,96

[053] A figura 19 ilustra o perfil do índice de refração do exemplo de fibra 23 (fabricado). O perfil de índice Perfil 1 foi fabricado. Esta fibra apresentou uma  $A_{\text{real}}$  medida de 110  $\mu\text{m}^2$  e sua atenuação foi de 0,17 dB/km em 1.550 nm. As tabelas a seguir (5a e 5b) listam parâmetros ópticos do exemplo de fibra 23.

Tabela 5a: Propriedades ópticas medidas

MFD em 1.550 nm ( $\mu\text{m}$ )	$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	Dispersão em 1.550 (ps/nm/km)	Corte de 2 m (nm)	Carga lat. em 1.550 nm (dB/km)	Atenuação em 1.550 (dB/km)
12,26	115,9	20	1.420	3,50	< 0,170

Tabela 5b: Propriedades ópticas previstas



Matriz de pinos (dB)
23,00

Exemplos 24, 25 e de 26 a 34

[054] A tabela 6A lista características medidas de dois exemplos adicionais 24 e 25, e a figura 20 ilustra o perfil do índice de refração medido da fibra do exemplo 24. A tabela 6B resume os valores médio, máximo e mínimo dos atributos medidos de mais de 500 km de fibra óptica feitos de acordo com a invenção. As concretizações de fibras ópticas correspondentes às tabelas 6A e 6B apresentam um primeiro núcleo 12 dopado com álcali e uma segunda região anelar 18 dopada com flúor. Essas fibras possuem uma área real  $A_{\text{real}}$  maior que  $100 \mu\text{m}^2$ , de preferência, maior que  $110 \mu\text{m}^2$ , mais preferencialmente, maior que  $115 \mu\text{m}^2$  e, ainda mais preferencialmente, maior que  $120 \mu\text{m}^2$ . O corte de cabo dessas concretizações de fibra é menor que  $1.520 \text{ nm}$ , mais preferencialmente, menor que  $1.500 \text{ nm}$  e, ainda mais preferencialmente, menor que  $1.450 \text{ nm}$ . A atenuação típica dessas concretizações de fibra (vide, por exemplo, as tabelas 6A e 6B) é menor que  $0,17 \text{ dB/km}$ , mais preferencialmente, menor que  $0,16 \text{ dB/km}$  e, mais preferencialmente ainda, menor que  $0,155 \text{ dB/km}$ .

Tabela 6A (Exemplos de fibra 24 e 25)

Ex.	MFD em 1.550 nm, $\mu\text{m}$	$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm, $\mu\text{m}^2$	Dispersão em 1.550 nm, ps/nm/km	Corte de 22 m (nm)	Atenuação em 1.550, dB/km	Perda por microcurvatura (dB/km)
24	12,18	115,20	20,5	1.420	0,1566	0,225
25	12,12	113,68	20,7	1.450	0,1670	0,187

Tabela 6B

	MFD em	$A_{\text{real}}$ em	Corte de cabo	Disp. em	At. em	Com- primen-	PMD (dispersã
--	-----------	-------------------------	------------------	-------------	-----------	-----------------	------------------

	1.550 nm, $\mu\text{m}$	1.550 nm, $\mu\text{m}^2$	de 22 m (nm)	1.550 nm, ps/nm/ km	1.550 , dB/k m	to das fibras (km)	o do modo de polariza- ção, ps por $\sqrt{\text{km}}$
Média	12,14	114,1	1.474	20,48	0,166	20,553	0,026
Median a	12,15	114,4	1.475	20,45	0,166	16,500	0,025
Mínimo	11,94	109,6	1.421	20,04	0,153	5,800	0,019

[055] A tabela 7 lista os parâmetros de perfil e características modeladas dos exemplos de 26 a 34 de outro conjunto ilustrativo de concretizações de fibras. A figura 21 ilustra um gráfico dos perfis de índice de refração de duas concretizações de fibras adicionais (29 e 33 na tabela 7) da invenção com áreas reais maiores que  $115 \mu\text{m}^2$ . As propriedades em comum das concretizações de fibras exemplificativas da tabela 7 são: em concretizações de fibras com uma área real maior que  $115 \mu\text{m}^2$ , de preferência, a fibra óptica possui uma cobertura primária com um módulo de Young menor que 1,0 Mpa e uma cobertura secundária com um módulo de Young maior que 1.200 Mpa. Os exemplos de 26 a 34 apresentam valores de atenuação em 1.550 nm menores que 0,175 dB/km, de preferência menores que 0,17 dB/km, comprimento de corte de cabo < 1.500 nm, de preferência < 1.450 nm, e uma área real >  $110 \mu\text{m}^2$ , de preferência >  $120 \mu\text{m}^2$ , mais preferencialmente >  $130 \mu\text{m}^2$ . A perda por microcurvatura da malha de fios de carga lateral (LLWM) é < 5 dB, de preferência < 4 dB, mais preferencialmente < 3 dB. O comprimento de onda do corte LP11 é, de preferência, entre 1.350 nm e 1.500 nm, mais preferencialmente entre 1.380 nm e 1.450 nm.

[056] Nas concretizações de 26 a 34,  $-0,2\% \leq \Delta_0 = \leq 0,2\%$ ,  $-0,065\% \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0\%$ ,  $-0,065\% \leq \Delta_{1\text{max}} \leq 0,0\%$ ,  $-0,5\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -$

0,27%,  $-0,4\% \leq \Delta_3 \leq -0,2\%$  (de preferência,  $-0,3\% \leq \Delta_3 \leq -0,2\%$ ), e  $r_1/r_2$  é  $0,2 \leq r_1/r_2 \leq 0,3$ , e  $r_2 < 30$ . O volume da segunda região de núcleo anelar é, de preferência, menor que  $-40\%$  em  $\mu\text{m}^2$ , mais preferencialmente, menor que  $-50\%$  em  $\mu\text{m}^2$ , onde o volume do perfil é calculado integrando-se a diferença radial ponderada no índice da segunda região de núcleo anelar em relação ao índice da região de revestimento:

$$V = \int_{r_1}^{r_2} (\Delta_2(r) - \Delta_3) r dr$$

[057] Um volume de perfil mais negativo é desejável para ajudar a confinar a potência óptica no núcleo, minimizando assim perdas por microcurvatura e permitindo a combinação de uma área real ampla com a baixa atenuação. Nas concretizações de 26 a 34, a razão do raio da primeira região de núcleo anelar para o raio da segunda região de núcleo anelar,  $r_1/r_2$ , é menor que 0,4, de preferência, menor que 0,3 e, mais preferencialmente, entre 0,2 e 0,3. O fator de mérito de microcurvatura (MFOM) dado na tabela 7 é um parâmetro que capta a relação entre a microcurvatura e a dispersão.

$$MFOM = C \frac{(A_{real})^2}{(D)(LP11)}$$

[058] Onde D é a dispersão da fibra em 1.550 nm, C é uma medida de redução na microcurvatura em razão do revestimento, e LP11 é o comprimento de onda de corte teórico do modo LP11. O fator de mérito de microcurvatura (MFOM) é, de preferência,  $< 0,6$ , mais preferencialmente,  $< 0,55$  e, mais preferencialmente ainda, entre 0,45 e 0,5.

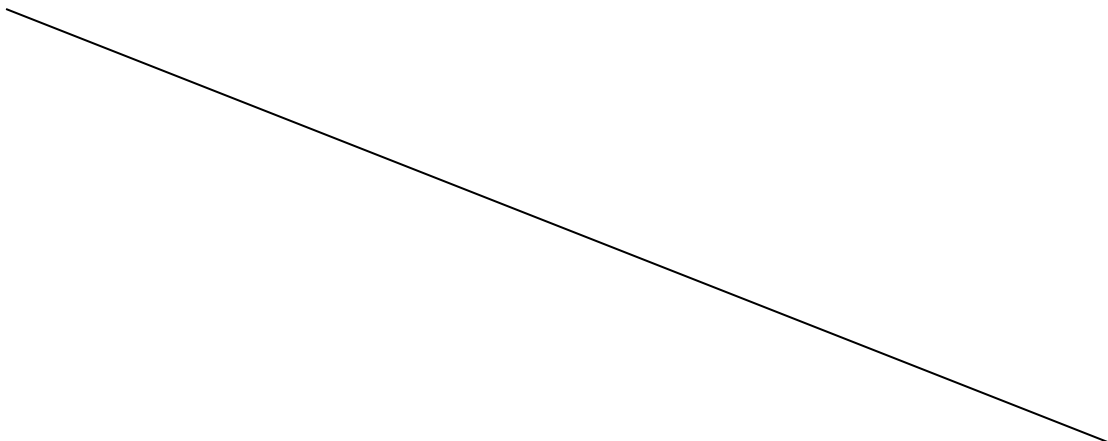


Tabela 7

Ex.	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$\Delta_0$ (%)	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
$r_0$ ( $\mu\text{m}$ )	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$\Delta_1$ (%)	-0,009	-0,008	-0,02	-0,024	-0,029	-0,031	-0,011	-0,024	-0,025
$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	6,2	6,21	6,4	6,42	6,64	6,76	6,45	6,52	6,73
$\Delta_{2\text{max}}$ (%)	-0,324	-0,31	-0,323	-0,314	-0,32	-0,32	-0,354	-0,345	-0,344
$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	25,47	29,25	28,63	28,8	27,84	27,36	26,99	29,09	25,36
$\Delta_{2\text{min}}$ (%)	-0,389	-0,4	-0,386	-0,383	-0,407	-0,387	-0,345	-0,351	-0,349
$\Delta_3$ (%)	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
Volum e da fossa (% em $\mu\text{m}^2$ )	-51,3	-61,1	-64,5	-58,9	-61,4	-56,3	-67,6	-78,1	-57,1
$r_1/r_2$	0,267	0,231	0,237	0,241	0,258	0,27	0,255	0,244	0,284
$A_{\text{real}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	116,6	120,2	123,2	125,5	130,1	132,8	118,5	122,3	128,1
MFO M	0,468	0,485	0,512	0,532	0,557	0,574	0,464	0,505	0,531

Ex.	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Carga lat. em 1.550 nm (dB/km)	1,84	1,88	2,54	3,15	3,95	4,96	1,67	2,45	3,56
Disp. em 1.550 (ps/nm/km)	21,09	21,04	21,24	21,13	21,36	21,41	21,63	21,49	21,68
Desvio de disp. em 1.550 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0,0617	0,0617	0,0619	0,0619	0,0622	0,0623	0,0621	0,0621	0,0624
Carga lat. em 1.550 nm (dB)	14,1	11,26	14,47	16,27	15,64	16,69	11,23	15,32	15,25
LP11 (μm)	1,379	1,416	1,396	1,4	1,422	1,435	1,399	1,377	1,426

[059] A tabela 8 dá as propriedades medidas de duas fibras ópticas feitas de acordo com o exemplo 29 da tabela 7. As concretizações de fibras ópticas correspondentes à tabela 7 apresentam um primeiro núcleo 12 dopado com álcali e uma segunda região anelar 18 dopada com flúor. Essas fibras possuem uma área real  $A_{\text{real}}$  maior que  $115 \mu\text{m}^2$ , de preferência maior que  $120 \mu\text{m}^2$ , mais preferencialmente maior que  $125 \mu\text{m}^2$ . O corte de cabo dessas concretizações de fibra é menor que 1.520 nm, mais preferencialmente, menor que 1.500 nm e, mais preferencialmente ainda, menor que 1.450 nm. A atenuação típica dessas concretizações de fibra é menor que 0,175 db/km,

mais preferencialmente menor que 0,17 dB/km.

Tabela 7 (Exemplo de fibra 29)

Ex.	MFD em 1.550 nm, $\mu\text{m}$	$A_{\text{real}}$ em 1.550 nm, $\mu\text{m}^2$	Dispersã o em 1.550 nm, ps/nm/km	Corte de 22 m (nm)	Atenuaçã o em 1.550, dB/km	Perda por macrocurvatur a de 1 x 20 mm (dB/volta)
35	12,65	127,9	20.3	1.415	0,166	0,15
36	12,38	125,0	N/A	1.383	0,171	N/A

[060] A dependência da LLWM modelada no MFOM é representada na figura 22. Há uma excelente correlação entre esses dois parâmetros, portanto este novo critério é uma forma excelente de avaliar a sensibilidade a microcurvaturas de dada concepção de fibra. Isso também explica por que fibras de menor dispersão apresentam maior sensibilidade a microcurvaturas. Na figura 22, a curva superior demonstra que fibras de baixa atenuação feitas com cobertura padrão apresentam perdas por microcurvatura aceitáveis ( $\text{LLWM} < 2 \text{ dB}$ ) para fatores de mérito de microcurvatura de até cerca de 0,45. Isso limita a área real da fibra em cerca de  $115 \mu\text{m}^2$ . A curva mais baixa da figura 22 demonstra que uma cobertura que confere maior resistência a microcurvaturas possibilita maiores valores de MFOM, o que possibilita que o valor de LLWM máximo se estenda a cerca de 4 dB, o que, por sua vez, permite áreas reais significativamente mais amplas. Fibras ópticas de baixa atenuação com áreas reais de  $140 \mu\text{m}^2$  são possíveis pela combinação das concepções de perfil da tabela 7 com uma cobertura com resistência superior a microcurvaturas.

[061] Descobrimos que certa combinação de coberturas primárias e secundárias melhora notadamente o desempenho com microcurvaturas e, por conseguinte, a atenuação geral, possibilitando assim aumentar a área real da fibra para  $\geq 115 \mu\text{m}^2$ , de preferência,  $\geq 120 \mu\text{m}^2$  e,

mais preferencialmente,  $\geq 130 \mu\text{m}^2$ . Uma fibra óptica com área real de ao menos  $115 \mu\text{m}^2$ , de preferência, compreende uma cobertura primária P em contato com o revestimento 20 e que o envolve. A cobertura primária P possui um módulo de Young menor que 1,0 MPa, de preferência, menor que 0,9 MPa e, em concretizações preferidas, que não ultrapassa 0,8 MPa. Essa fibra óptica compreende ainda uma cobertura secundária S que faz contato com a cobertura primária P e a envolve. A cobertura secundária S apresenta um módulo de Young, de preferência, maior que 1.200 MPa e, mais preferencialmente, maior que 1.400 MPa.

[062] Conforme usado no presente documento, o módulo de Young, o alongamento até a ruptura e a resistência à tração de um material polimérico curado de uma cobertura primária são medidos usando-se um instrumento de teste de tração (por exemplo, um testador de tração Sintech MTS ou um sistema de teste de materiais universal INSTRON) em uma amostra de material na forma de um filme com cerca de  $76 \mu\text{m}$  a  $102 \mu\text{m}$  de espessura e cerca de 1,3 cm de largura, com um comprimento útil de 5,1 cm e uma velocidade de teste de 2,5 cm/min.

[063] Nas concretizações exemplificativas, a cobertura primária P desejavelmente possui uma temperatura de transição do vidro menor que a menor temperatura de uso projetada da fibra óptica revestida. Em algumas concretizações, a cobertura primária P possui uma temperatura de transição do vidro menor que  $-25^\circ \text{C}$ , mais preferencialmente menor que  $-30^\circ \text{C}$ . Desejavelmente, a cobertura primária P apresenta um índice de refração maior que o revestimento da fibra óptica a fim de permitir que ela remova sinais ópticos errôneos do núcleo da fibra óptica. Por exemplo, uma fibra óptica de transmissão apresenta valores de índice de refração em um comprimento de onda de 1.550 para o núcleo e para o revestimento de 1,447 e 1,436, respectivamente; portanto, é desejável que o índice de refração da cobertura primária P seja maior que 1,44 em 1.550 nm. A cobertura primária P manteria a adesão adequada com a fibra de vidro durante o envelhecimento térmico e

hidrolítico e, ainda assim, seria removível dele para fins de entrelaçamento. A cobertura primária P normalmente possui uma espessura na faixa de 25  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$  (por exemplo, de cerca de 32,5  $\mu\text{m}$ ) e pode ser aplicada à fibra óptica como um líquido e curada.

[064] A cobertura primária P é, de preferência, um produto curado de uma composição curável primária que inclui um oligômero e ao menos um monômero. As composições curáveis primárias usadas na formação das coberturas primárias também podem incluir fotoiniciadores.

[065] Ficará evidente aos versados na técnica a possibilidade de se efetuar várias modificações e variações na presente invenção sem divergir de sua essência nem de seu âmbito. Sendo assim, almeja-se que a presente invenção abranja modificações e variações, contanto que estas estejam dentro do âmbito das reivindicações anexas e de seus equivalentes.



### **REIVINDICAÇÕES**

1. Fibra de guia de ondas ópticas **caracterizada** por compreender:

(i) um núcleo isento de Ge com uma área real de  $100,4 \mu\text{m}^2$  a  $160 \mu\text{m}^2$ , em um comprimento de onda de 1.550 nm, e um valor de  $\alpha$  onde  $12 \leq \alpha \leq 200$ , o referido núcleo compreendendo:

(a) uma região de núcleo central, a qual se estende radialmente para fora de uma linha central a um raio  $r_0$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_0(r)$  em %, medido em relação à sílica pura onde  $-0,1\% \leq \Delta_0(r) \leq 1\%$ , em que a região de núcleo central possui um percentual máximo do índice de refração relativo  $\Delta_{0\text{MAX}}$ ;

(b) uma primeira região de núcleo anelar, a qual circunda e é diretamente adjacente à região de núcleo central, estende-se a um raio externo  $r_1$  onde  $4,8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_1(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, bem como um índice de refração relativo mínimo  $\Delta_{2\text{MIN}}$ , onde o índice de refração relativo medido a um raio  $r = 2,5 \mu\text{m}$  é:

$$-0,15 \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0 \text{ e } \Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m});$$

(c) uma segunda região anelar dopada com flúor, a qual circunda e é diretamente adjacente à primeira região de núcleo anelar, estende-se a um raio  $r_2$  onde  $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual negativo do índice de refração relativo,  $\Delta_2(r)$  em %, medido em relação à sílica pura,

onde um percentual mínimo do índice de refração relativo  $\Delta_{2\text{MIN}}$  é:

$$\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \text{ e } -0,5\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0,27\%;$$

(ii) um revestimento, o qual circunda o núcleo e possui um percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_c(r)$  em %, medido em relação à sílica, e  $\Delta_c(r) = \Delta_{2\text{MIN}} \pm 0,3\%$

em que o perfil do índice de refração relativo da fibra óptica é selecionado a fim de conferir uma atenuação que não ultrapasse 0,175 dB/km

no comprimento de onda de 1.550 nm;

(iii) uma cobertura primária com um módulo de Young menor que 1,0 Mpa;

(iv) uma cobertura secundária com um módulo de Young maior que 1.200 Mpa; e

em que a referida fibra possui uma área real maior que  $115 \mu\text{m}^2$ .

2. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que ao menos parte da região de núcleo central é feita de sílica pura.

3. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que  $-0,5\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0,25\%$ .

4. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que  $-0,1\% \leq \Delta_1(r = 2,5) \leq 0\%$ .

5. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que  $\Delta_0 = 0$ ;  $-0,07\% \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0\%$ ,  $-0,5\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0,27\%$ ,  $r_2/r_1$  é  $2,17 \leq r_2/r_1 \leq 5,7$  e  $r_2 \leq 30$ .

6. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** por uma dispersão D em um comprimento de onda de 1.550 nm onde  $18 \leq D \leq 25 \text{ ps/nm/km}$ .

7. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** por uma dispersão D em um comprimento de onda de 1.550 nm onde  $19 \leq D \leq 23 \text{ ps/nm/km}$ .

8. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** por um comprimento de onda de dispersão zero  $\lambda_0$  onde  $1.245 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1.290 \text{ nm}$ .

9. Fibra óptica, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** por apresentar uma perda por macrocurvatura em 1.550 nm menor que 10 dB/m para 20 voltas em torno de um mandril de 20 mm de diâmetro.

10. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que a referida segunda região anelar dopada com

flúor possui de 0,01% em peso a 1,6% em peso de flúor.

11. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que: (i) o referido núcleo isento de Ge possui uma área real entre  $100 \mu\text{m}^2$  e  $160 \mu\text{m}^2$ ; e (ii) uma segunda região anelar dopada com flúor possui de 0,07% em peso a 1,6% em peso de flúor.

12. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** por possuir mais de 500 ppm de cloro no referido núcleo e mais de 10.000 ppm de cloro no revestimento.

13. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que compreende:

(i) um núcleo isento de Ge com uma área real de  $100 \mu\text{m}^2$  a  $160 \mu\text{m}^2$ , em um comprimento de onda de 1.550 nm, e um valor de  $\alpha$  onde  $12 \leq \alpha \leq 25$ , o referido núcleo compreendendo:

(a) uma região de núcleo central, a qual se estende radialmente para fora de uma linha central a um raio de  $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_0(r)$  em %, medido em relação à sílica pura onde  $-0,1\% \leq \Delta_0(r) \leq 1 \%$ , em que a região de núcleo central possui um percentual máximo do índice de refração relativo  $\Delta_{0\text{MAX}}$ ;

(b) uma primeira região de núcleo anelar, a qual circunda e é diretamente adjacente à região de núcleo central, estende-se a um raio externo  $r_1$  onde  $4,8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_1(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, bem como um índice de refração relativo mínimo  $\Delta_{2\text{MIN}}$ , onde o índice de refração relativo medido a um raio  $r = 2,5 \mu\text{m}$  é:

$$-0,07\% \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0\% \text{ e } \Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m});$$

(c) uma segunda região anelar dopada com flúor, a qual circunda e é diretamente adjacente à primeira região de núcleo anelar, estende-se a um raio  $r_2$  onde  $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual negativo do índice de refração relativo,  $\Delta_2(r)$  em %, medido em relação à sílica pura,

onde um percentual mínimo do índice de refração relativo  $\Delta_{2MIN}$  é:

$$\Delta_{2MIN} < \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m});$$

(ii) um revestimento, o qual circunda o núcleo e possui um percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_3(r)$  em %, medido em relação à sílica pura e  $\Delta_c(r) = \Delta_{2MIN} \pm 0,3\%$ ,

em que o perfil do índice de refração relativo da fibra óptica é selecionado a fim de conferir uma atenuação entre 0,15 dB/km e 0,175 dB/km em 1.550 nm, onde  $\Delta_0 = 0$ ,  $-0,07\% \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0\%$ ,  $r_2/r_1$  é  $2,17 \leq r_2/r_1 \leq 5,7$  e  $r_2 \leq 30$ , a referida fibra de guia de ondas ópticas apresenta uma dispersão D em um comprimento de onda de 1.550 nm onde  $18 \text{ ps/nm/km} \leq D \leq 25 \text{ ps/nm/km}$ ,  $1.245 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1290 \text{ nm}$  e perda por macrocurvatura em 1.550 nm menor que 10 dB/m para 20 voltas em torno de um mandril de 20 mm de diâmetro.

14. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que (i) a referida segunda região anelar dopada com flúor possui de 0,01% em peso a 1,6% em peso de flúor e (iii) a dita fibra possui mais de 500 ppm de cloro no referido núcleo e mais de 10.000 ppm de cloro no revestimento.

15. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que compreende:

(i) um núcleo isento de Ge com uma área real de  $100,4 \mu\text{m}^2$  a  $160 \mu\text{m}^2$ , em um comprimento de onda de 1.550 nm, e um valor de  $\alpha$  onde  $12 \leq \alpha \leq 25$ , o referido núcleo compreendendo:

(a) uma região de núcleo central, a qual se estende radialmente para fora de uma linha central a um raio de  $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_0(r)$  em %, medido em relação à sílica pura onde  $-0,1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0,1\%$ , em que a região de núcleo central possui um percentual máximo do índice de refração relativo  $\Delta_{0MAX}$ ;

(b) uma primeira região de núcleo anelar, a qual circunda e é

diretamente adjacente à região de núcleo central, estende-se a um raio externo  $r_1$  onde  $4,8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_1(r)$  em %, medido em relação à sílica pura, bem como um índice de refração relativo mínimo  $\Delta_{2\text{MIN}}$ , onde o índice de refração relativo medido a um raio  $r = 2,5 \mu\text{m}$  é:

$$-0,15 \leq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \leq 0 \text{ e } \Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m});$$

(c) uma segunda região anelar dopada com flúor, a qual circunda e é diretamente adjacente à primeira região de núcleo anelar, estende-se a um raio  $r_2$  onde  $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$  e possui um perfil percentual negativo do índice de refração relativo,  $\Delta_2(r)$  em %, medido em relação à sílica pura,

onde um percentual mínimo do índice de refração relativo  $\Delta_{2\text{MIN}}$  é:

$$\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r = 2,5 \mu\text{m}) \text{ e } -0,5\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0,27\%;$$

(ii) um revestimento, o qual circunda o núcleo e possui um percentual do índice de refração relativo,  $\Delta_c(r)$  em %, medido em relação à sílica, e  $\Delta_c(r) = \Delta_{2\text{MIN}} \pm 0,3\%$

16. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizada** pelo fato de que possui uma área real  $> 101,7 \mu\text{m}^2$ .

17. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 16, **caracterizada** pelo fato de que possui uma área real  $> 110 \mu\text{m}^2$ .

18. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizada** pelo fato de que seu perfil de índice de refração relativo é estruturado para conferir uma atenuação que não ultrapasse 0,16 dB/km no comprimento de onda de 1550 nm.

19. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizada** pelo fato de que seu perfil de índice de refração relativo é estrutura para conferir uma atenuação que não ultrapasse 0,155 dB/km no comprimento de onda de 1550 nm.

20. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação

15, **caracterizada** pelo fato de que seu perfil de índice de refração relativo é estruturado para conferir (i) uma atenuação que não ultrapasse 0,16 dB/km no comprimento de onda de 1550 nm e (ii) o comprimento de onda de corte de cabo é inferior a 1520 nm.

21. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizada** pelo fato de que o comprimento de onda de corte de cabo é inferior a 1450 nm

22. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizada** por possuir uma área real  $A_{\text{real}} > 120 \mu\text{m}^2$  e pelo fato de que seu perfil de índice de refração relativo é estruturado para conferir uma dispersão que não ultrapasse 21 ps/nm/km.

23. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que ao menos parte do núcleo compreende um álcali.

24. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizada** pelo fato de que o álcali compreende Na, K ou Rb.

25. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizada** pelo fato de que o álcali compreende K na faixa de 20 ppm a 1.000 ppm em peso.

26. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizada** pelo fato de que ao menos parte do núcleo compreende um álcali.

27. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 26, **caracterizada** pelo fato de que o álcali compreende Na, K ou Rb.

28. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 26, **caracterizada** pelo fato de que o álcali compreende K na faixa de 20 ppm a 1.000 ppm em peso.

29. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que ao menos parte do núcleo compreende um álcali.

30. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 29, **caracterizada** pelo fato de que o álcali compreende Na, K ou Rb.

31. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 29, **caracterizada** pelo fato de que o álcali compreende K na faixa de 20 ppm a 1.000 ppm em peso.

32. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** por possuir uma dispersão D que não ultrapasse 21 ps/nm/km no comprimento de onda de 1.550 nm.

33. Fibra de guia de ondas ópticas, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizada** por possuir uma dispersão D que não ultrapasse 20 ps/nm/km no comprimento de onda de 1.550 nm.

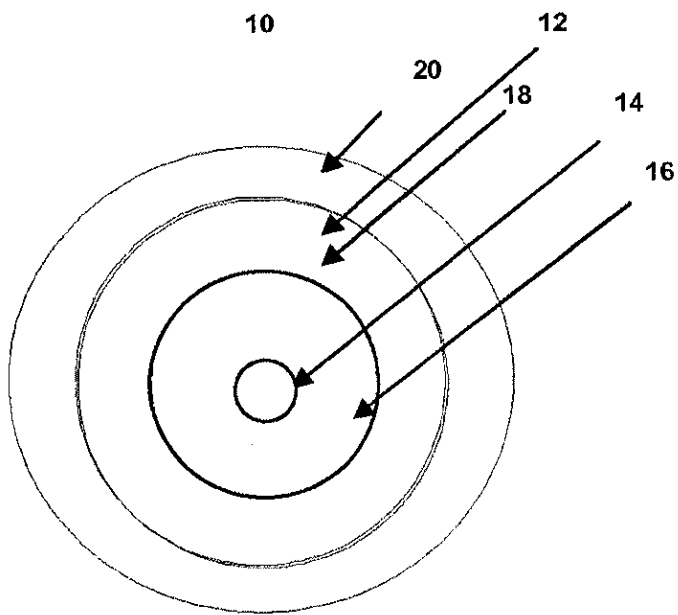


Figura 1A



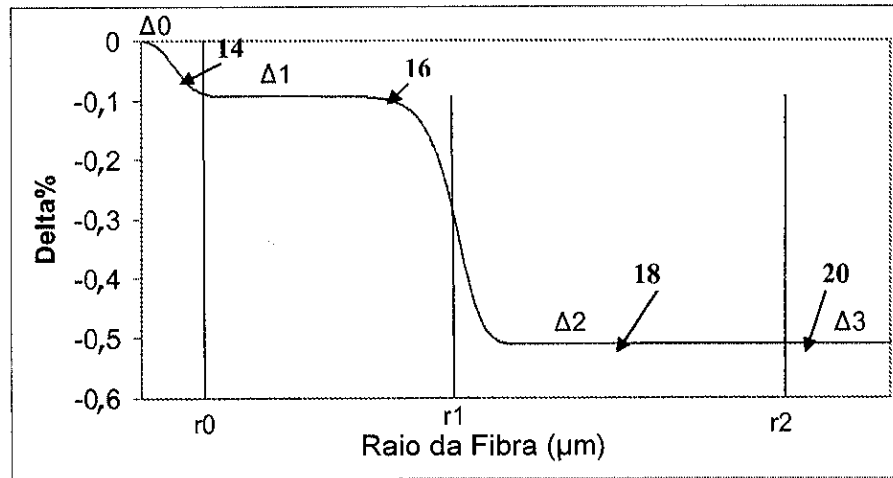


Fig. 1B

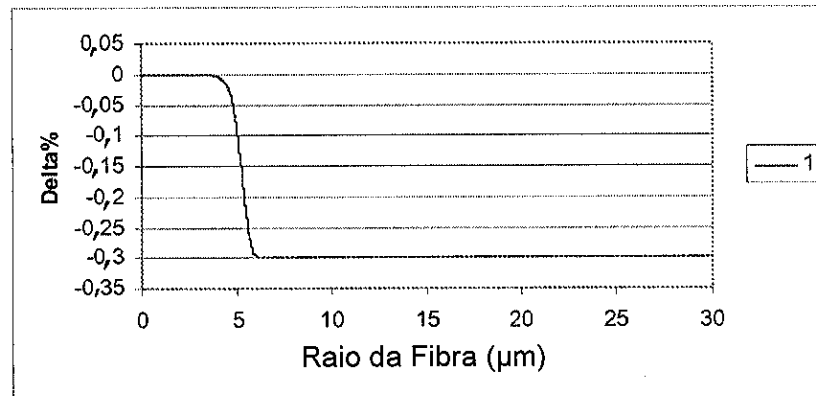


Fig. 2

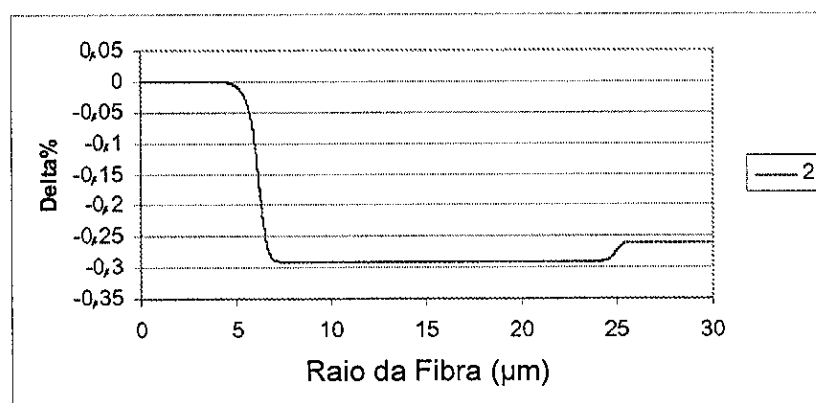


Fig. 3

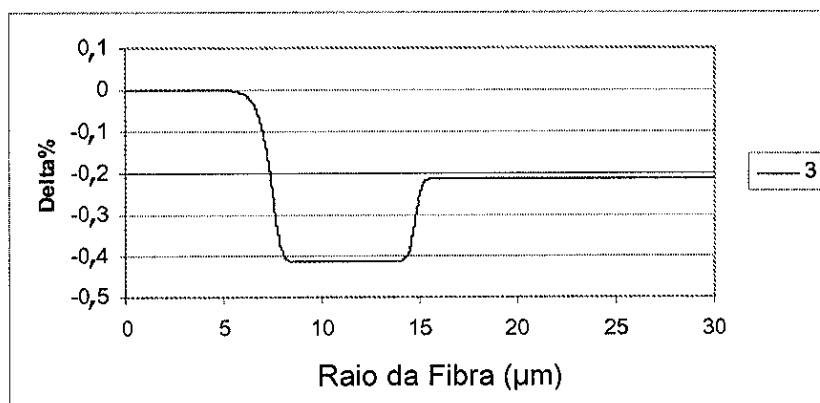


Fig. 4

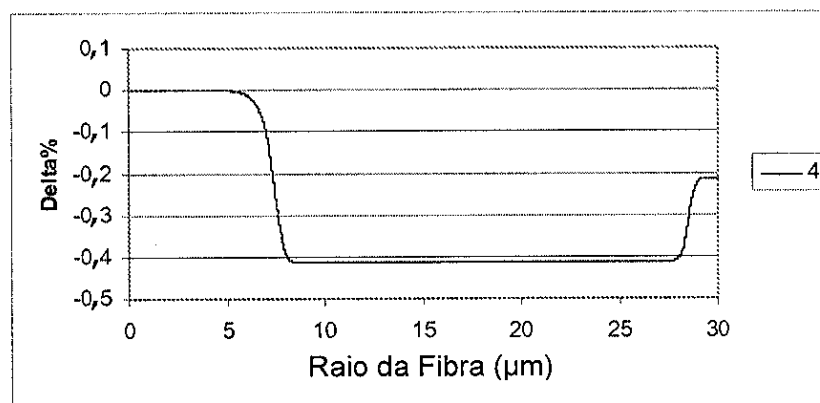


Fig. 5

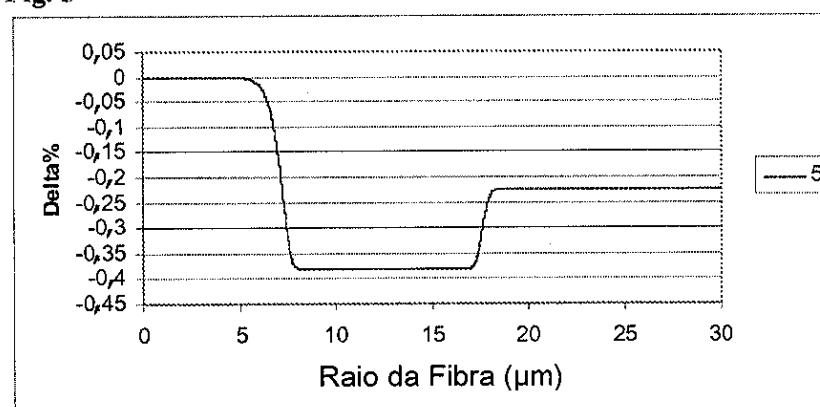


Fig. 6

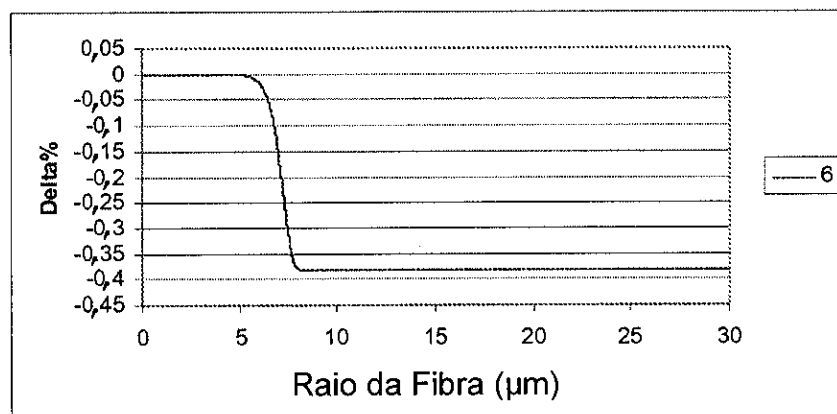


Fig. 7

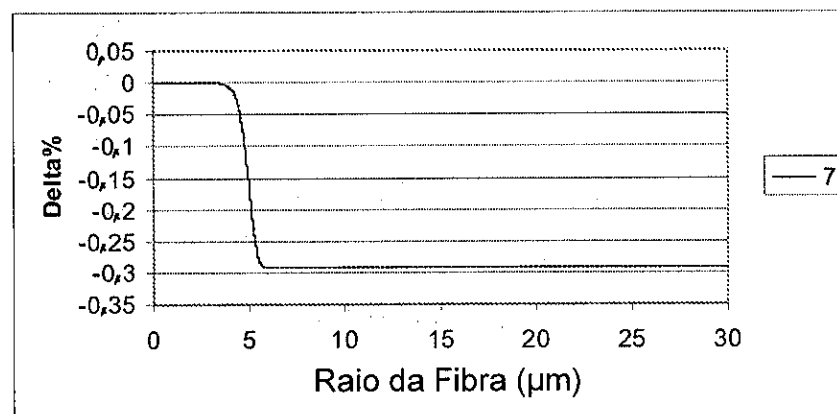


Fig. 8

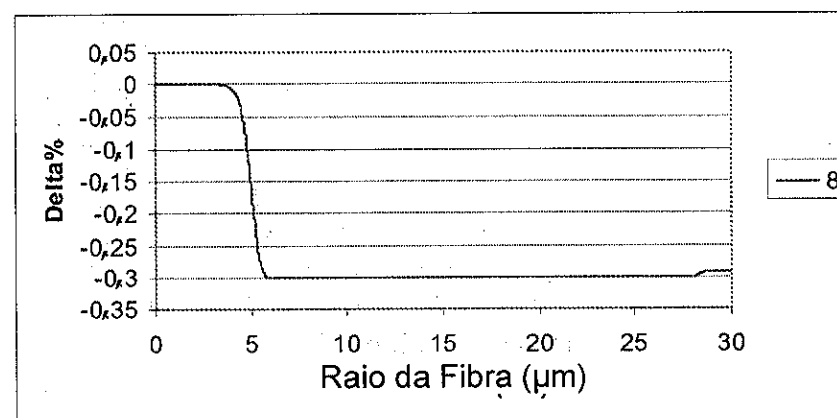


Fig. 9

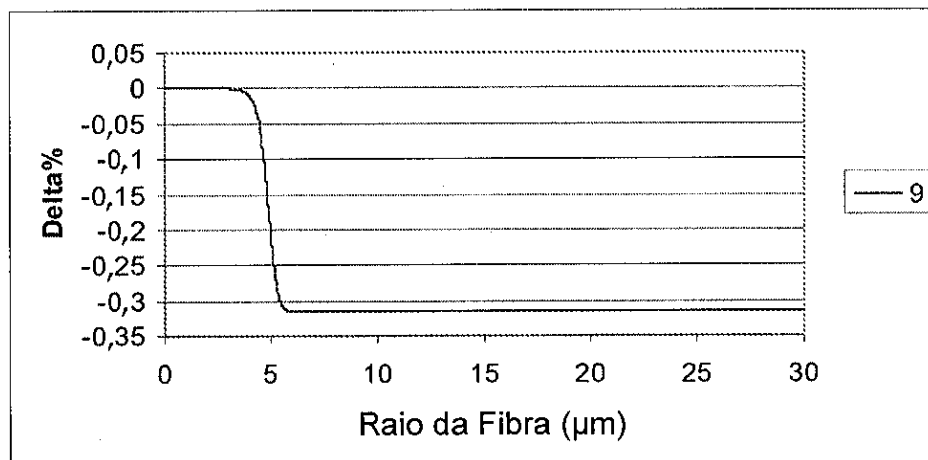


Fig. 10

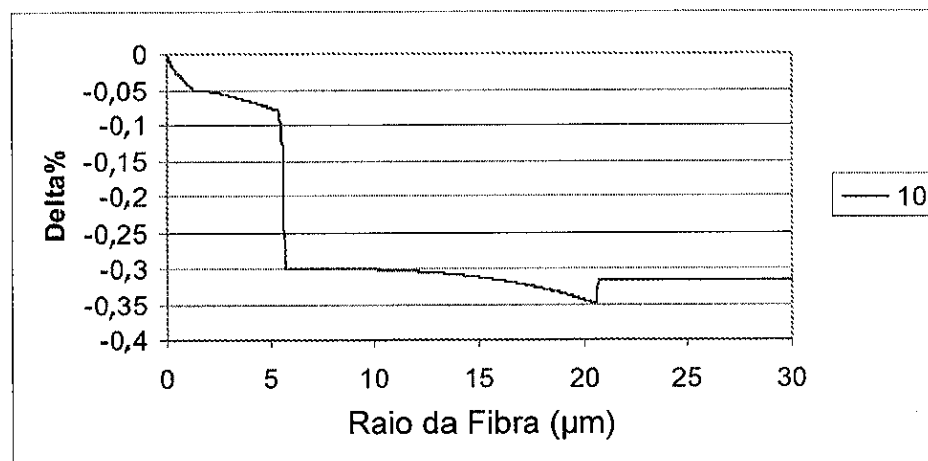


Fig. 11

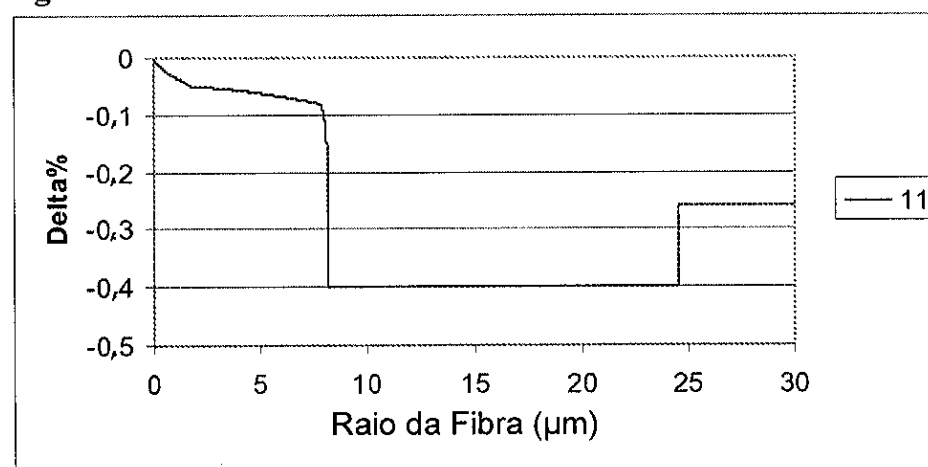


Fig. 12

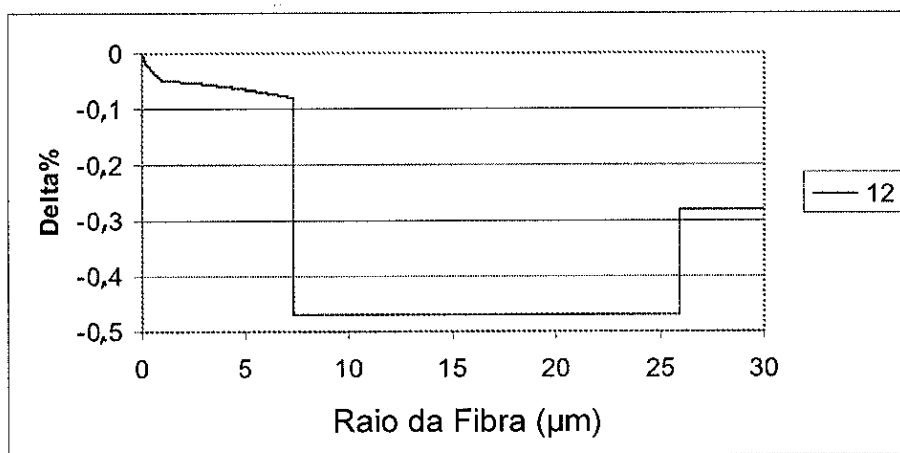


Fig. 13

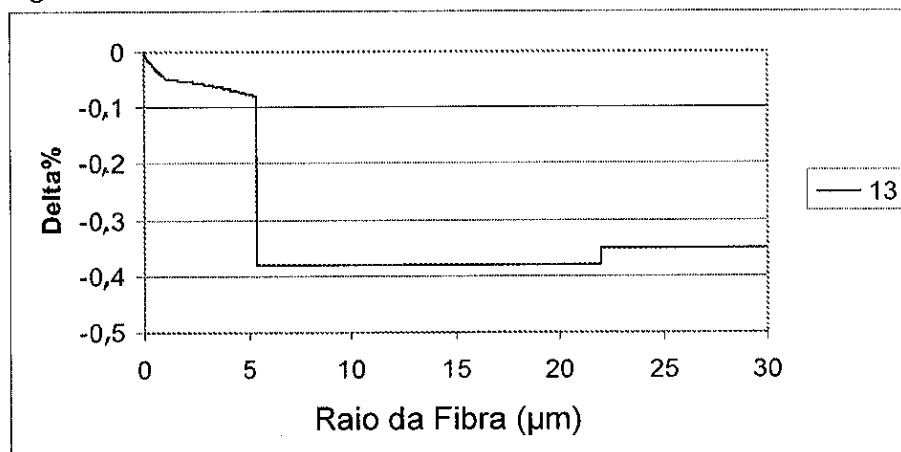


Fig. 14

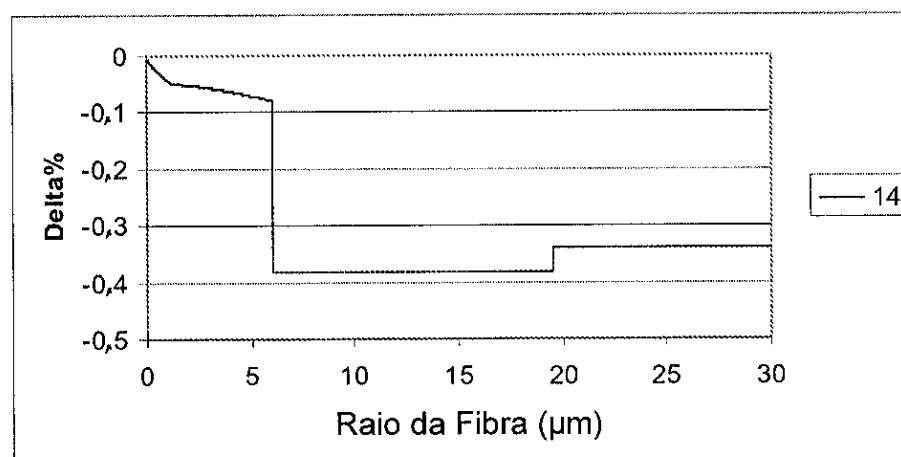


Fig. 15

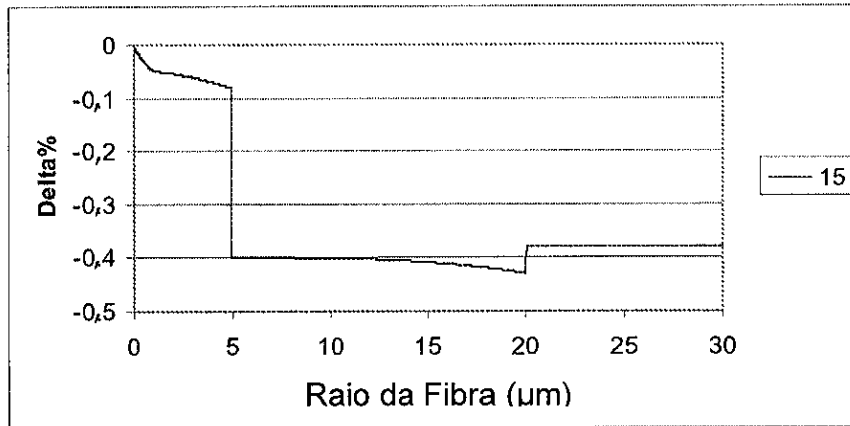
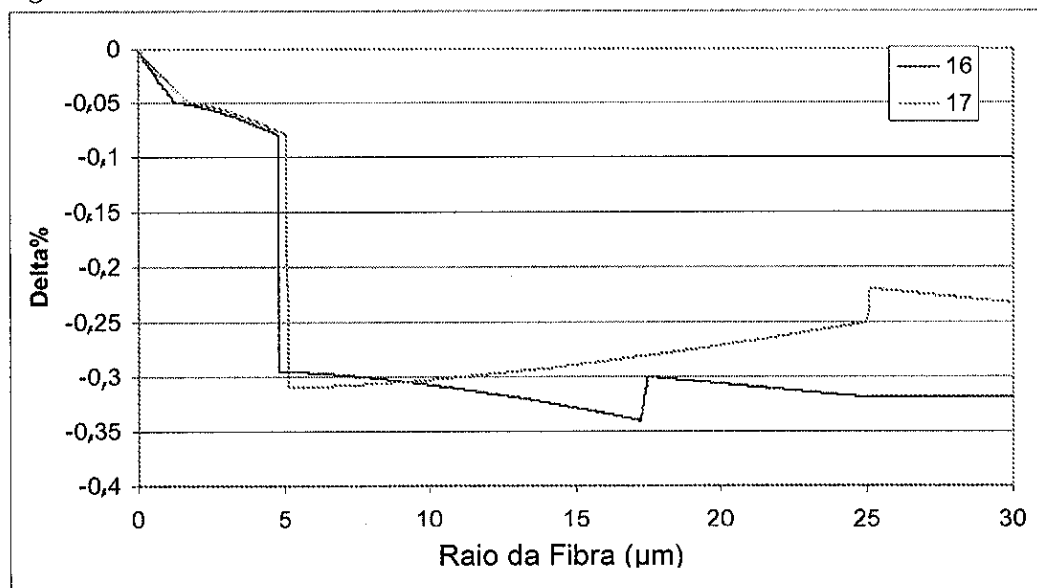


Fig. 16

Fig. 17



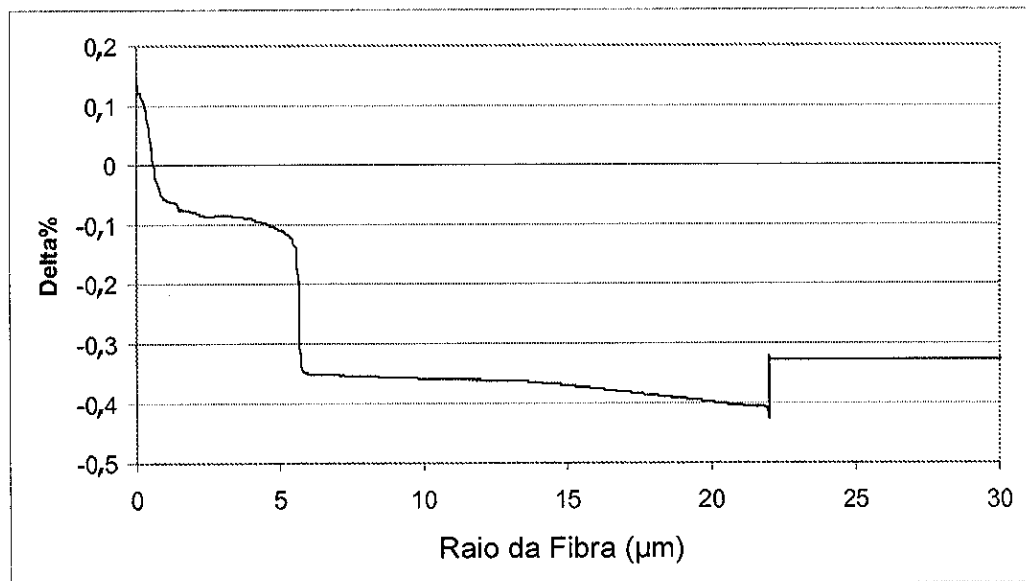


FIG. 18

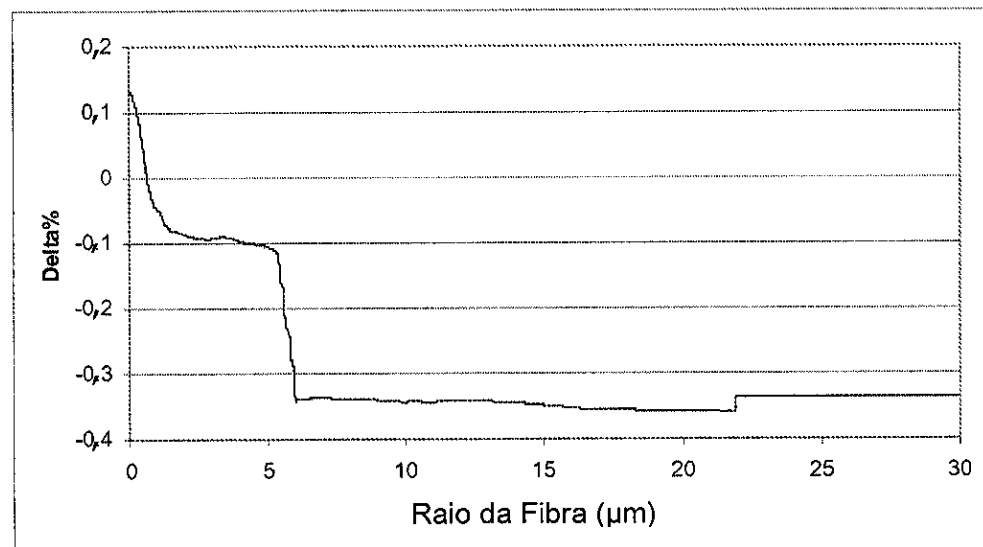


Fig. 19.

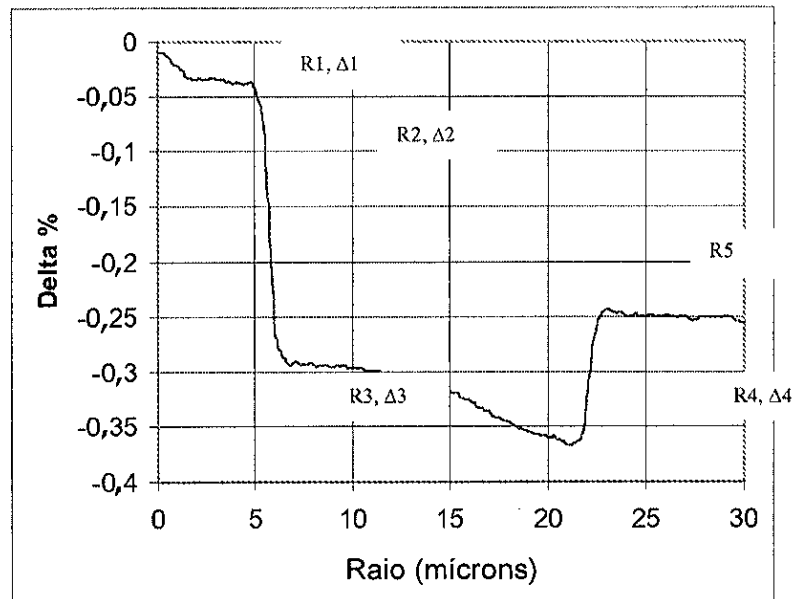


Figura 20.



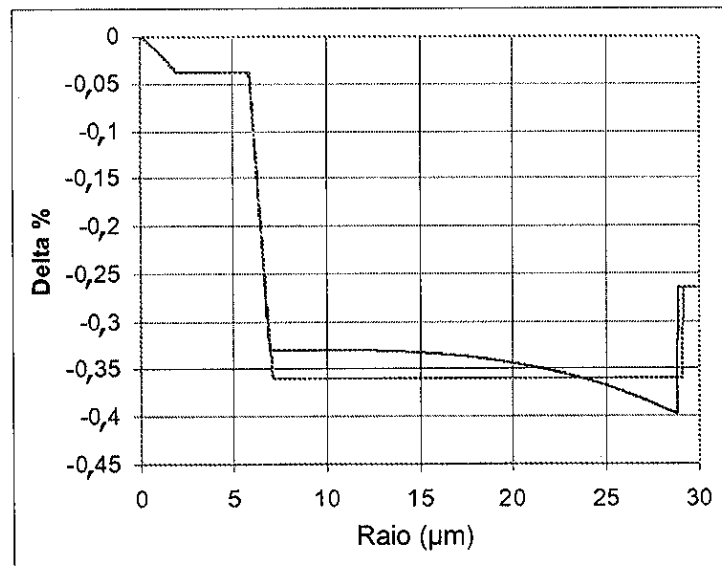


Figura 21.

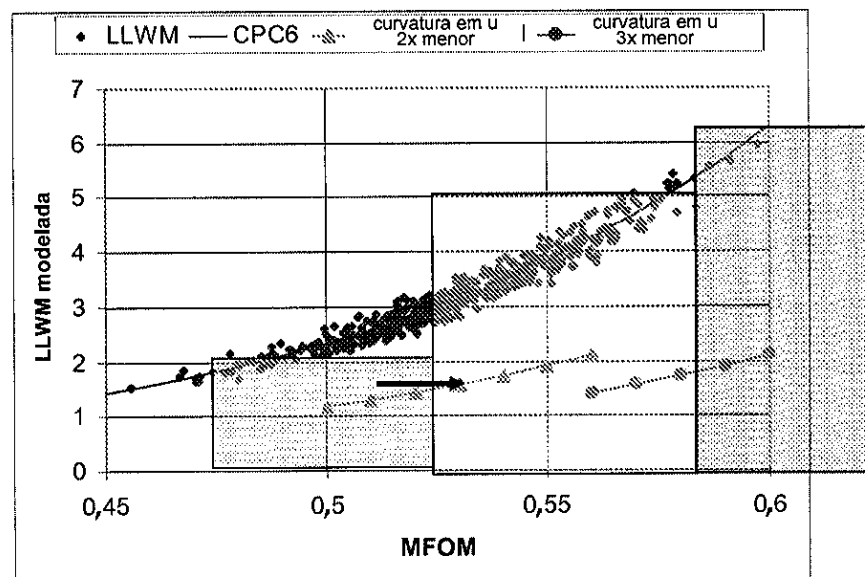


Fig. 22