



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0713004-0 B1**

**(22) Data do Depósito: 18/05/2007**

**(45) Data de Concessão: 18/09/2018**



---

**(54) Título:** FIBRA DE DETECÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA DE MÚLTIPLOS NÚCLEOS

**(51) Int.Cl.:** G01K 11/32; G02B 6/02

**(30) Prioridade Unionista:** 12/06/2006 US 11/451,207

**(73) Titular(es):** BAKER HUGHES INCORPORATED

**(72) Inventor(es):** STEPHEN POLAND; DANIEL S. HOMA

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 12/12/2008

## FIBRA DE DETECÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA DE MÚLTIPLOS NÚCLEOS

### ANTECEDENTES

Um problema comum com os sistemas de temperatura  
5 distribuída (DTS) (por exemplo, utilizando fibras DTS  
Raman) envolve dificuldades em fazer medições calibradas de  
temperatura. Medições DTS de extremidade única podem ser  
calibradas apenas com suposições nas características de  
perda de dependência espectral da fibra ótica. Efeitos de  
10 hidrogênio e tensão sobre a fibra podem mudar perdas de  
dependência espectral na fibra. Quaisquer mudanças em perda  
de dependência espectral requerem que pontos de calibração  
de temperatura sejam incluídos ao longo do comprimento da  
fibra de detecção o que pode ser particularmente difícil de  
15 implementar em certas aplicações (por exemplo,  
configurações de fundo de poço).

Adicionalmente, pontos de calibração têm vantagem  
muito limitada se a perda de dependência espectral for não  
linear (dependente da localização). No caso de atenuação  
20 espectral não linear, uma solução aceita é a de empregar  
uma fibra de detecção DTS em uma configuração de  
extremidade dual a qual quando interrogada a partir de  
ambas as direções por um sistema DTS na superfície, pode  
ser usada para corrigir erros devido à atenuação espectral  
25 não linear. Até o presente, a técnica principal para se  
obter uma configuração DTS de extremidade dual tem sido a  
de utilizar duas linhas capilares (as quais podem ser, por  
exemplo, de aproximadamente 1/4 polegada de diâmetro  
externo) e um tubo U na parte inferior que conecta as duas  
30 linhas capilares, e então bombear uma fibra ótica ao longo

da extensão total da tubulação (no caso de aplicações de fundo de poço, a partir da superfície até o fundo do poço e de volta para a superfície). Contudo, essa abordagem aumenta a complexidade de uma completação (versus tendo apenas um tubo capilar) e também pode aumentar significativamente as pressões de fluido que são exigidas para bombear a fibra/cabo DTS pela extensão total da tubulação.

O que é necessário é um sistema DTS com precisão aperfeiçoada e sem uma configuração de tubo-U com linhas de tubo capilar dual (de tal modo que os custos de instalação e a complexidade do sistema são reduzidos, junto com o risco reduzido de que a fibra DTS não atravesse as linhas capilares).

Adicionalmente, onde fibras de detecção de temperatura distribuída baseada em reticulação Bragg de fibra (FBG) são utilizadas, deve ser reconhecido que tais fibras são de sensibilidade cruzada à tensão. Embora técnicas de cabeamento possam ser usadas para reduzir a tensão transmitida em fibras DTS baseadas em FBG, remover completamente a tensão e/ou impedir mudanças na tensão transmitida a uma fibra ótica durante e após emprego é difícil, senão impossível. Também se torna necessária na técnica uma fibra de detecção de temperatura FBG tendo leituras de temperatura corrigidas de tensão, aperfeiçoadas feitas a partir das reticulações Bragg.

Sensores de temperatura de fibra ótica, particularmente aqueles utilizados em ambientes severos, tal como em ambientes de fundo de poço, também são predominantemente contaminadas por mudanças de temperatura

e fontes de desvio. Desse modo, onde medição é tentada, sensores adicionais têm sido exigidos para se tentar compensar tais mudanças de temperatura, e desvio da medição. Por exemplo, dois sensores de pressão poderiam ser empregados próximos um do outro tendo diferentes características de detecção (isto é, diferentes respostas ao parâmetro indesejado), e cálculos podem ser feitos em uma tentativa de se eliminar o efeito do parâmetro sobre a medição (efetivamente em uma tentativa de isolar o parâmetro de interesse, por exemplo, efeitos de temperatura no ponto de interesse).

Embora isso possa parecer ser uma boa solução, condições nos dois sensores devem ser exatas para eliminar precisamente as influências do parâmetro indesejado. Além disso, a necessidade de configurar e executar múltiplos sensores em cada ponto de medição de interesse pode ser tedioso e dispendioso.

O que também é necessário na técnica é uma solução simples, de baixo custo para prover medições de temperatura corrigidas de fonte de tensão e derivação em sensores de fibra ótica.

#### SUMÁRIO

Os problemas e deficiências descritos acima e outros da técnica anterior são superados e minorados por intermédio da fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de múltiplos núcleos aqui descrita, em que o arranjo e a construção de ao menos dois núcleos de condução de luz, proporcionam uma medição de temperatura corrigida de atenuação espectral (por exemplo, corrigida para hidrogênio e/ou tensão na fibra). Em uma modalidade

exemplar, a fibra ótica compreende ao menos dois núcleos, em que os núcleos têm porções de medição colocadas em conjunto, por exemplo, interferômetros em fibra ou porções de reticulação Bragg. Em outra modalidade exemplar, um núcleo compreende uma fibra DTS Raman, por exemplo, um núcleo de 50 micrômetros, núcleo de 62,5 micrômetros, núcleo de 100 micrômetros, etc., ou um núcleo de modo único dopado-Ge com reticulações Bragg de fibra periodicamente ou aleatoriamente gravadas nesse lugar. Em outra modalidade exemplar, um segundo núcleo compreende um núcleo de fibra DTS Raman adicional ou núcleo de modo único com reticulações Bragg de fibra.

Em uma modalidade exemplar, a fibra é arranjada de tal modo que os núcleos respondem diferentemente às mudanças em temperatura e/ou tensão em um ponto de interesse. Por exemplo, os núcleos podem ser dopados diferentemente de tal modo que as porções de medição dentro do núcleo (por exemplo, reticulações Bragg de fibra) reagem diferentemente entre ao menos dois núcleos. Em uma modalidade, ao menos dois núcleos são diferentemente dopados e cada um deles inclui reticulações Bragg de fibra, de tal modo que o comprimento de onda de uma reticulação Bragg de fibra em um núcleo ou não muda, ou muda diferentemente, com relação a uma reticulação Bragg de fibra em um segundo núcleo em resposta a uma mudança em um parâmetro ambiental (por exemplo, tensão na fibra).

As características e vantagens discutidas acima e outras do sensor DTS de fibra ótica de múltiplos núcleos presentemente descrita serão consideradas e entendidas por aqueles versados na técnica a partir da descrição detalhada

a seguir e dos desenhos.

#### DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

Com referência agora aos desenhos, em que elementos semelhantes são numerados similarmente nas várias  
5 figuras:

A Figura 1 é uma vista em perspectiva de uma fibra de múltiplos núcleos exemplar utilizando um núcleo DTS Raman e um núcleo de modo único com reticulações Bragg de fibra;

10 A Figura 2 é uma vista em perspectiva de uma fibra de múltiplos núcleos exemplar utilizando uma pluralidade de núcleos de modo único com reticulações Bragg de fibra;

15 A Figura 3 é uma vista em perspectiva de uma fibra de múltiplos núcleos exemplar utilizando dois núcleos DTS Raman, conectados em uma extremidade distal;

A Figura 4 é uma vista esquemática de um sistema de medição DTS de fundo de poço incluindo uma fibra utilizando reticulações dispostas em conjunto; e

20 A Figura 5 é uma vista esquemática de um sistema de medição DTS de fundo de poço incluindo uma fibra utilizando reticulações dispostas em conjunto em intervalos definidos.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES EXEMPLARES

25 Será feita agora referência em detalhe às modalidades exemplares, cujos exemplos são ilustrados nos desenhos anexos.

Com referência agora à Figura 1, uma fibra ótica de múltiplos núcleos exemplar é ilustrada geralmente em 10.  
30 A fibra compreende um primeiro núcleo de condução de luz 12

e um segundo núcleo de condução de luz 14. Na modalidade exemplar ilustrada, o primeiro núcleo 12 é um núcleo de detecção de temperatura distribuída (DTS) Raman, cujo núcleo pode ser de qualquer tamanho conveniente, por exemplo, núcleo de 50 micrômetros, núcleo de 62,5 micrômetros, núcleo de 100 micrômetros, etc. O segundo núcleo 12 é ilustrado como um núcleo de modo único incluindo reticulações Bragg de fibra.

Com referência agora à Figura 2, outra modalidade exemplar utiliza ao menos dois núcleos de condução de luz (3 desses núcleos são ilustrados aqui), em que os núcleos incluem reticulações Bragg de fibra, gravadas periodicamente ou aleatoriamente nesse lugar. Em uma modalidade exemplar, as reticulações Bragg de fibra 16 de ao menos dois núcleos são geralmente dispostas em conjunto, e os efeitos medidos de temperatura ou tensão em um local específico são comparados para corrigir atenuação espectral não linear. Com relação à Figura 3, deve ser observado que para os propósitos dessa revelação, o termo "ao menos dois núcleos de condução de luz" deve ser considerado como abrangendo uma construção em que múltiplas porções de núcleo 12 estão situadas paralelas na mesma extensão do cabo de fibra, mesmo onde dois desses núcleos 12 são unidos, por exemplo, em uma porção distal (ou no fundo do poço), conforme mostrado geralmente em 17 na Figura 3. Com relação à Figura 1, também deve ser observado que os núcleos não precisam ter os mesmos diâmetros, por exemplo, com um núcleo de modo único tendo um diâmetro menor do que um núcleo DTS, Raman, posicionado dentro da mesma fibra.

Conforme aqui usado, fibras de múltiplos núcleos

melhoram a exatidão de uma medição DTS da fibra. Além disso, onde ao menos dois núcleos são construídos para reagir diferentemente a um parâmetro desejado, por exemplo, temperatura (cuja temperatura pode variar consideravelmente em ambientes de fundo de poço) ou tensão (a qual pode surgir devido à construção de cabeamento, atividade, vibração, etc. no ambiente), as medições a partir de ao menos dois núcleos podem ser comparadas para se averiguar uma medição de temperatura corrigida.

10 Por exemplo, um núcleo (primário) pode ser construído como um núcleo dopado-Ge com reticulações Bragg de fibra, e um segundo núcleo (correção de temperatura) pode ser dopado em conjunto com Ge e Boro (observar que essas dopagens são meramente exemplares e, por exemplo, 15 fósforo ou outros elementos ou combinações de elementos podem ser usados para prover os núcleos com reações diferenciais). Em tal construção (vide, por exemplo, a construção da Figura 2), os comprimentos de onda de reticulação Bragg de fibra no núcleo de correção ou não se 20 deslocarão ou se deslocarão diferentemente ou com mudanças em temperatura, desse modo permitindo que erros de medição de temperatura, induzidos por tensão, sejam estimados e removidos das medições de temperatura feitas com as reticulações Bragg de fibra no núcleo primário.

25 Por intermédio de outro exemplo, um primeiro núcleo (primário) pode ser um núcleo DTS Raman, e um segundo núcleo (correção) pode ser um núcleo de modo único que é dopado em conjunto com Ge e Boro (ou fósforo, etc.) de modo que os comprimentos de onda de reticulação Bragg de 30 fibra no núcleo de correção não mudam ou mudam

diferentemente com a temperatura. Nesse caso, as reticulações Bragg de fibra no núcleo de correção poderiam medir a tensão, a qual poderia ser usada para compensar perdas de dependência espectral induzidas por tensão.

5 Observa-se que o núcleo de correção pode ser ou de um núcleo DTS Raman e um núcleo de modo único com reticulações Bragg de fibra. Similarmente, o núcleo primário pode ser ou um núcleo DTS Raman e um núcleo de modo único com reticulações Bragg de fibra.

10 Em outra modalidade exemplar, um sistema de DTS aperfeiçoado inclui uma fibra de núcleo único (a qual pode ser, por exemplo, uma fibra de perfil de índice refrativo de multimodo de 50/125 micrômetros ou uma fibra que pode produzir um nível suficiente de intensidade de dispersão

15 Raman para as medições de temperatura distribuída), incluindo conjuntos de reticulação gravados em certos intervalos, ou uma fibra de múltiplos núcleos em que reticulações ou conjuntos de reticulação dispostos em conjunto são gravados nos núcleos em locais específicos ao

20 longo da extensão da fibra (por exemplo, as reticulações 16 podem corresponder às zonas de produção dentro de um poço de óleo/gás, conforme ilustrado na Figura 4, onde tais zonas de produção estão localizadas a 2.000 metros e 4.000 metros abaixo da cabeça de poço, respectivamente.

25 Alternativamente, tais reticulações 16 podem ser gravadas em distâncias prescritas, por exemplo, 500 metros, 1.000 metros, etc. ao longo da fibra, conforme ilustrado na Figura 5). Onde conjuntos de reticulação são gravados, uma alta densidade de reticulações pode ser gravada em cada

30 conjunto de reticulação para produzir uma reflexão de

reticulação forte. Adicionalmente, cada conjunto de reticulação pode ser gravado em comprimento de onda diferente, cujos comprimentos de onda não estão em conflito com os comprimentos de onda Stokes ou anti-Stokes (por exemplo, 1.451 e 1.663 nanômetros para uma bomba de 1.550 nanômetros.

Os comprimentos de onda de reticulação, discretos podem ser gravados por intermédio de máscaras de múltiplas fases na torre de manobra por intermédio de vários métodos. Um método exemplar inclui o uso de uma roda giratória que contém múltiplas (por exemplo, 5 ou 6) máscaras em torno de seu perímetro. Essa roda de reticulação seria girada durante o curso de manobra para gravar reticulações em comprimentos de onda discretos.

O sistema de temperatura DTS descrito imediatamente acima pode então calibrar a si próprio em uma frequência periódica, predeterminada (por exemplo, de hora em hora, diariamente, semanalmente). Tal calibração envolve sondagem dos conjuntos de reticulação ou reticulações dispostas em conjunto nesses tempos predeterminados. A temperatura absoluta de cada conjunto de reticulação é então calculada por intermédio de sua mudança de comprimento de onda. As medições de temperatura Raman distribuída são então ajustadas por intermédio dessas medições de temperatura regional, as quais não são afetadas por aumentos de perda. Um laser sintonizável ou uma fonte de banda larga de alta potência pode ser empregado para sondar os conjuntos de reticulação. As reticulações podem ser gravadas em comprimentos de onda que são menos suscetíveis a aumentos de perda, tal como em torno da

janela de 1.310 nanômetros ou de aproximadamente 1.500 nanômetros (por exemplo, 1.495, 1.500, 1.505 nanômetros). Os conjuntos de reticulação também podem ser gravados em aproximadamente 1.000 nanômetros, mas essa janela pode  
5 estar mais sujeita a aumentos de perda SWE.

Por intermédio do mencionado acima, tal sistema de temperatura DTS pode determinar os aumentos de perda do núcleo(s) de fibra em várias regiões ao longo da fibra para melhorar significativamente a exatidão das medições DTS.

10 Em outra modalidade exemplar, as extremidades de dois núcleos são conectadas em uma extremidade distal de uma fibra ótica (vide região 17 na Figura 3). Em tal caso, os núcleos proporcionam uma medição de temperatura calibrada quando cada um dos núcleos é interrogado em ambas  
15 as direções por um sistema de DTS, provido em apenas uma extremidade da fibra de múltiplos núcleos. Deve ser observado que esse é o caso mesmo para atenuação espectral não linear (ou dependente de localização).

Será evidente para aqueles versados na técnica  
20 que, embora modalidades exemplares tenham sido mostradas e descritas, várias modificações e variações podem ser feitas nas modalidades aqui reveladas sem se afastar do espírito ou escopo da invenção. Conseqüentemente deve ser entendido que as várias modalidades foram descritas como ilustração e  
25 não como limitação.

## REIVINDICAÇÕES

1. Fibra de detecção de temperatura distribuída de múltiplos núcleos, **caracterizada** por compreender:

5 uma fibra ótica (10) conectada a meios de detecção de temperatura, a fibra ótica (10) compreendendo ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 14), em que os ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 14) são conectados em uma extremidade distal da fibra ótica (10).

2. Fibra de detecção de temperatura distribuída de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que um sistema de detecção de temperatura, posicionado unicamente em uma extremidade proximal da fibra ótica (10), está disposta para interrogar através de ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 15 14) em qualquer direção.

3. Fibra de detecção de temperatura distribuída de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizada** pelo fato de que ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 14) compreendem núcleos de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída Raman. 20

4. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, **caracterizado** por compreender:

25 uma fonte de luz de medição de sistema de detecção de temperatura distribuída; e

uma fibra ótica de detecção de temperatura distribuída (10) que compreende ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 14), os ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 14) construídos para responder 30 diferentemente às mudanças de temperatura ou tensão em um

ponto de interesse, em que as porções de medição dos ao menos dois núcleos de condução de luz (12, 14) proporcionam, correspondentemente, respostas óticas diferenciais à interrogação pela fonte de luz de medição, em que um primeiro núcleo de condução de luz (12) tem uma primeira reticulação de Bragg gravada em um primeiro comprimento de onda de reticulação e um segundo núcleo de condução de luz (14) tem uma segunda reticulação de Bragg gravada no primeiro comprimento de onda de reticulação, e em que os primeiro e segundo núcleos (12, 14) tem uma sensibilidade distinta ao comprimento de onda.

5. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que ao menos dois núcleos de fibra ótica (12, 14) são dopados diferencialmente.

6. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que um dos núcleos (12, 14) é dopado com um primeiro dopante ou mistura de dopante, e em que um segundo dos núcleos (12, 14) é dopado com um segundo dopante ou mistura de dopante, de tal modo que os comprimentos de onda de reticulação Bragg de fibra no segundo núcleo não mudam ou mudam diferentemente em resposta às mudanças de temperatura em relação aos comprimentos de onda de reticulação Bragg de fibra no primeiro núcleo (12).

7. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado**

pelo fato de que o primeiro dopante é Germânio e em que o segundo dopante é Germânio e Boro.

8. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de ainda compreender:

um sistema de medição DTS configurado para receber uma primeira resposta ótica, a partir do núcleo, e calcula uma medição de temperatura; e

10 um sistema de calibração de medição DTS configurado para corrigir a medição de temperatura usando uma segunda resposta ótica, a partir do segundo núcleo.

9. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que ao menos dois núcleos (12, 14) incluem reticulações dispostas em conjunto gravadas nos núcleos (12, 14) em locais predeterminados ao longo da extensão da fibra ótica (10).

20 10. Sistema de fibra ótica de detecção de temperatura distribuída de fibra ótica de múltiplos núcleos, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o sistema sonda periodicamente as reticulações dispostas em conjunto nos locais  
25 predeterminados para calcular a temperatura absoluta dos locais de acordo com a mudança do comprimento de onda e executa uma calibração com base na sondagem periódica.

1/2

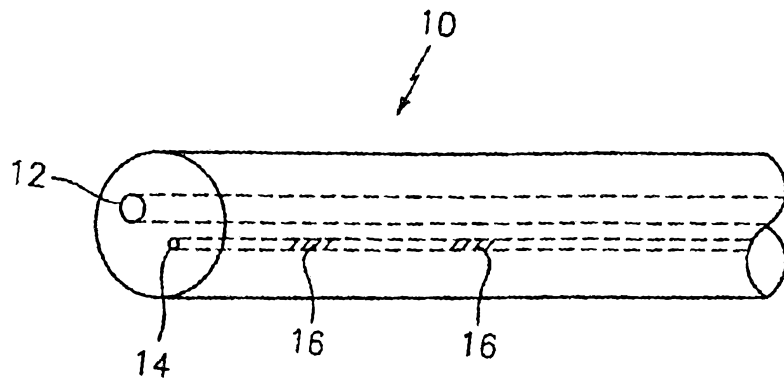


FIG. 1

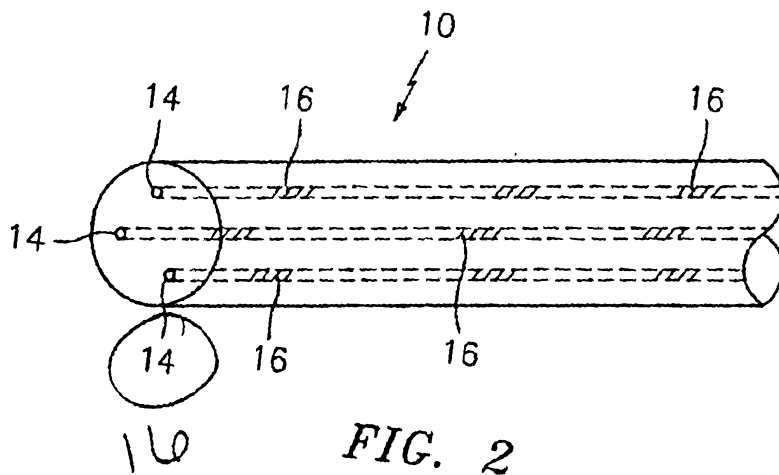


FIG. 2

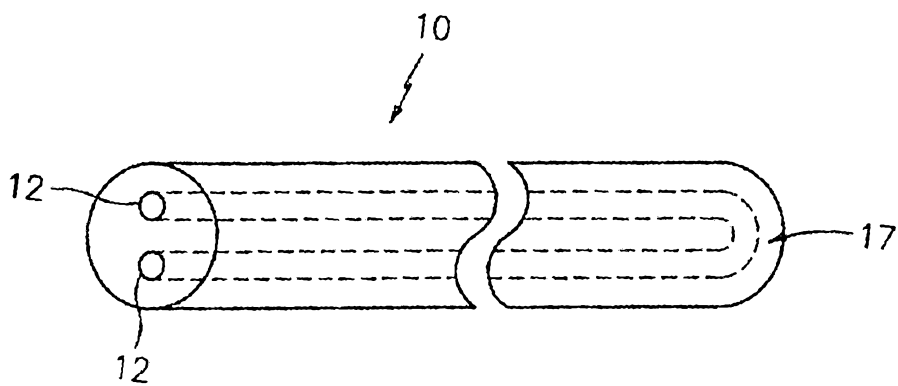


FIG. 3

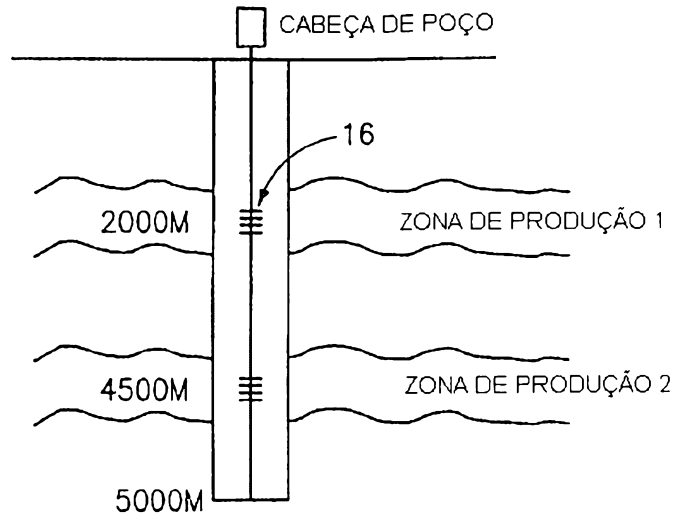


FIG. 4

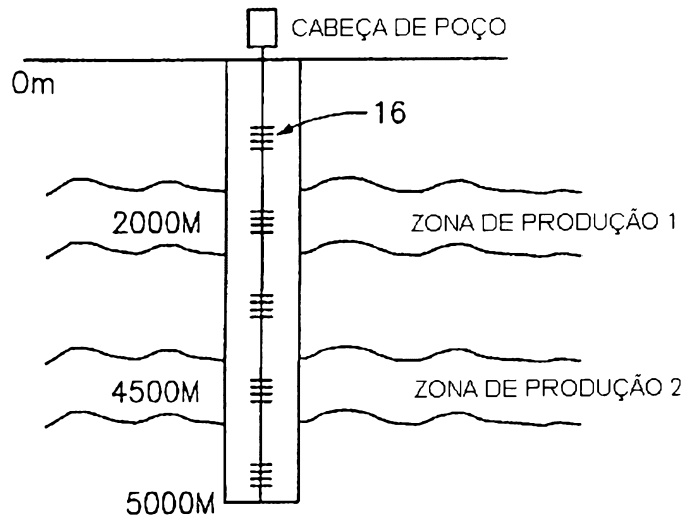


FIG. 5