



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0710075-2 A2**

(22) Data de Depósito: 21/02/2007  
(43) Data da Publicação: 02/08/2011  
(RPI 2117)



(51) *Int.Cl.:*  
G01J 3/12 2006.01

(54) Título: **MÉTODO E APARELHO PARA UM ESPECTRÔMETRO DE FUNDO DE POÇO BASEADO EM FILTROS ÓPTICOS AJUSTÁVEIS**

(30) Prioridade Unionista: 23/02/2006 US 11/360,542

(73) Titular(es): Baker Hughes Incorporated

(72) Inventor(es): Rocco Difoggio

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007004434 de 21/02/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/100564 de 07/09/2007

(57) Resumo: MÉTODO E APARELHO PARA UM ESPECTRÔMETRO DE FUNDO DE POÇO BASEADO EM FILTROS ÓPTICOS AJUSTÁVEIS presente invenção refere-se a sensores ópticos termicamente ajustáveis são utilizados em ferramentas de amostragem para análise de amostras a partir de um furo de poço. Os sensores ópticos termicamente ajustáveis geram uma série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda e detectam a atenuação em um sinal das mesmas. A atenuação detectada é processada e utilizada para determinar aspectos das amostras. A análise pode ser completada remotamente (fora do furo de poço), dentro do furo de poço (durante a perfuração ou em outra atividade), ou como uma parte de outro processo tal como gerenciamento, transporte e refinamento de fluido.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO E APARELHO PARA UM ESPECTRÔMETRO DE FUNDO DE POÇO BASEADO EM FILTROS ÓPTICOS AJUSTÁVEIS**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

5 1. Campo da Invenção

A presente invenção refere-se em geral ao campo de amostragem de fundo de poço de hidrocarbonetos e em particular, com a espectroscopia de superfície de alta resolução de fundo de poço e no local de trabalho de amostras de hidrocarboneto utilizando um filtro óptico ajustável para medição e estimativa de propriedades físicas e químicas de fluido a partir de uma formação de fundo de poço.

10 2. Informação de Antecedente

Na indústria de óleo e gás, as ferramentas de teste de formação têm sido utilizadas para monitorar pressões da formação ao longo de um furo de poço, obtendo amostras de fluido da formação a partir do furo de poço e prognosticando o desempenho dos reservatórios ao redor do furo de poço. Tais ferramentas de teste de formação tipicamente contêm um corpo alongado possuindo um pacote elastomérico que é de forma vedada impelido contra a zona de interesse no furo de poço para coletar amostras de fluido da formação em câmaras de armazenamento colocadas na ferramenta.

Durante a perfuração de um furo de poço, um fluido de perfuração ("lama") é utilizado para facilitar o processo de perfuração e para manter uma pressão no furo de poço maior do que a pressão do fluido nas formações rodeando o furo de poço. Isto é particularmente importante quando perfurando em formações onde a pressão é anormalmente alta. Se a pressão do fluido no furo de sonda ficar abaixo da pressão da formação, existe um risco de explosão do poço. Como resultado desta diferença de pressão, o fluido de perfuração penetra ou invade a formação em profundidades radiais variadas (referidas geralmente como zonas invadidas) dependendo dos tipos de formação e do fluido de perfuração utilizado. As ferramentas de teste da formação recebem fluidos da formação a partir das formações ou zonas de interesse desejadas, testam os fluidos recuperados para garantir que o fluido

recuperado esteja substancialmente livre de líquidos filtrados da lama, e coletam tais fluidos em uma ou mais câmaras associadas com a ferramenta. Os fluidos coletados são levados para a superfície e analisados para determinar as propriedades de tais fluidos e para determinar a condição das zonas ou formações a partir de onde tais fluidos foram coletados.

Um aspecto que a maioria das ferramentas de teste de formação possui em comum é uma sonda de amostragem de fluido. Esta pode consistir em uma plataforma de borracha durável que é mecanicamente pressionada contra a formação rochosa adjacente ao furo de sonda, a plataforma sendo pressionada firme o suficiente para formar uma vedação hidráulica. Através da plataforma é estendida uma extremidade de um tubo de metal que também faz contato com a formação. Este tubo ("sonda") é conectado com uma câmara de amostragem, por sua vez, é conectada com uma bomba que opera para diminuir na pressão na sonda anexa. Quando a pressão na sonda é diminuída para baixo da pressão dos fluidos da formação, os fluidos da formação são puxados através da sonda para dentro do furo de poço para jorrar os fluidos penetrados antes da amostragem. Em alguns testes de formação, um sensor de identificação de fluido determina quando o fluido a partir da sonda consiste substancialmente em fluido da formação; então, um sistema de válvulas, tubos, câmaras de amostra e de bombas torna possível recuperar uma ou mais amostras de fluido que podem ser recuperadas e analisadas quando o dispositivo de amostragem é recuperado a partir do furo de sonda.

É desejável que somente fluidos não contaminados sejam coletados, na mesma condição na qual eles existem na formação. Normalmente, os fluidos recuperados são contaminados pelos fluidos de perfuração. Isto pode acontecer como resultado de uma vedação ruim entre a plataforma de amostragem e a parede do furo de sonda, permitindo ao fluido do furo de sonda infiltrar na sonda. O depósito de sólidos formado pelos fluidos de perfuração pode permitir que alguns líquidos filtrados da lama continuem a invadir e infiltrar ao redor da plataforma. Mesmo onde existe uma vedação eficaz, o fluido do furo de sonda (ou alguns componentes do fluido do furo de

sonda) podem "invadir" a formação, particularmente se ela for uma formação porosa, e serem puxados para dentro da sonda de amostragem junto com os fluidos afins da formação.

A Patente US 4.994.671 emitida para Safinya e outros descreve um dispositivo no qual a análise visível e próxima de infravermelho (IR) dos fluidos é feita no furo de sonda, principalmente para o propósito de determinar quando um fluido sendo bombeado alcançou sua contaminação mínima de líquido filtrado e é uma coleta de valor para um tanque de amostra, o qual será subseqüentemente levado de volta para a superfície. A parte de porção infravermelha do espectro eletromagnético (região com comprimento de onda de 0,8 até 2  $\mu\text{m}$ , ou de forma equivalente os números os números de onda de 12.500 até 400  $\text{cm}^{-1}$ ) de uma substância contém aspectos de absorção devido às vibrações ou rotações moleculares das moléculas constituintes. A absorção resulta tanto das bandas fundamentais (transições únicas de quantum ocorrendo na região de médio-infravermelho a partir de 2,5 até 25,0  $\mu\text{m}$ ) e de bandas de combinação e sobre-modulares (transições de vários quanta ocorrendo na região de médio e próximo de infravermelho a partir de 0,8 até 2,5  $\mu\text{m}$ ). A posição (frequência ou comprimento de onda) destas absorções contém informação quanto aos tipos de estruturas moleculares que estão presentes no material, e a intensidade das absorções contém informação a cerca das quantidades de tipos moleculares que estão presentes. Para utilizar a informação nos espectros para o propósito de identificar e quantificar cada um dos componentes ou propriedades exige que uma calibragem seja executada para estabelecer a relação entre as absorções e o componente ou propriedade que é para ser estimada. Para misturas complexas, onde sobreposição considerável entre as absorções de constituintes individuais ocorre, tais calibragens devem ser realizadas utilizando vários métodos de análise de dados quimiométricos.

Em misturas complexas, cada constituinte no fluido recuperado geralmente dá origem a vários aspectos de absorção correspondendo a diferentes movimentos vibracionais. Fundamentalmente, o efeito sobre os espectros da mistura de quaisquer interações (por exemplo, ligação de hidro-

gênio) entre as moléculas de diferentes componentes é desprezível, de modo que a lei de Beer é obedecida e as intensidades destas absorções irão todas variar juntas de um modo linear à medida que a concentração dos constituintes varia. Tais aspectos são ditos como possuindo intensidades que estão correlacionadas no domínio de frequência (ou de comprimento de onda). Esta correlação permite que estas absorções sejam matematicamente distinguidas de aspectos espectrais não relacionados e de ruído aleatório de medição espectral que não apresenta tal correlação. Os cálculos de álgebra linear que separam os sinais de absorvência correlacionados dos sinais não correlacionados formam a base para as técnicas tais como a Regressão Linear Múltipla (MLR), a Regressão de Componentes Principais (PCR) e de Mínimos Quadrados Parcial (PLS). Como é de conhecimento, a PCR é essencialmente o procedimento matemático analítico da Análise de Componentes Principais (PCA) seguido da análise por regressão.

A PCR e o PLS têm sido utilizados para estimar as composições básicas e químicas e até uma menor extensão, as propriedades físicas ou termodinâmicas de sólidos, líquidos e gases baseados em seus espectros de infravermelho médio ou infravermelho próximo. Alguns exemplos da utilização de quimiométricas para deduzir propriedades físicas e químicas de óleo bruto a partir de seus espectros infravermelho próximos foram dados em 1988 na GB 2.217.838, onde os espectros foram obtidos no laboratório utilizando um espectrômetro de alta resolução (tamanho de fase de 2 nm). Tipicamente, os métodos quimiométricos envolvem [1] a coleta de espectros de infravermelho médio ou de infravermelho próximo de um conjunto de amostras representativas; [2] o tratamento matemático dos dados espectrais para extrair os melhores comprimentos de onda individuais se correlacionando (MLR), ou as variáveis latentes de Componentes Principais ou Mínimos Quadrados Parciais (por exemplo, os sinais de absorvência correlacionados descritos acima); e [3] a regressão destas variáveis espectrais em relação à composição e/ou aos dados de propriedade para construir um modelo multivariado. A análise de novas amostras então envolve a coleta de seus espectros, a decomposição dos espectros em termos de variáveis es-

pectrais utilizadas na regressão e a aplicação da equação de regressão para calcular a composição ou as propriedades.

Em Safinya e outros, a luz visível e infravermelha próxima é passada através da amostra de fluido. Então, um espectrômetro (o qual na verdade é um fotômetro de filtro que possui 10 filtros em diferentes comprimentos de onda centrais) mede o espectro da luz transmitida e de difusão retrógrada, e, conhecendo o espectro da luz incidente, os espectros de absorção de transmissão e de difusão retrógrada para a amostra são determinados. Utilizando os espectros de absorção de água, e exemplos particulares de espectros de absorção de gás, óleos refinados e brutos, e fluidos de perfuração, uma análise de mínimos quadrados é executada, a qual modela os espectros absorvidos como uma soma ponderada dos espectros de seus componentes, a análise de mínimos quadrados fornecendo a composição do fluido em termos de pesos dos vários componentes. O método de Safinya assume que os espectros do óleo bruto e do líquido filtrado, que compreende uma mistura contaminada de fluido da formação, são os mesmos à medida que qualquer que seja o exemplo, espectros do óleo bruto e de líquido filtrado foram escolhidos para o ajuste de mínimos quadrados. Entretanto, quando testando qualquer zona suportando hidrocarboneto pela primeira vez, esta suposição é problemática devido à alta variabilidade dos espectros do óleo bruto.

Atualmente, os espectrômetros de furo de poço típicos são realmente fotômetros de filtro. Eles utilizam filtros de interferência fixos de cor única cuja resolução de faixa de passagem está limitada a não mais do que uma largura total de 11 nm em meio máximo devido ao estado atual da técnica para fabricar filtros de interferência, assim proporcionando uma resolução espectroscópica relativamente baixa em um pequeno número de comprimentos de onda centrais selecionadas (por exemplo, 10 até 24 diferentes filtros ópticos). Estes filtros não são adequados para distinguir entre picos espectrais estreitamente espaçados ou para isótopos de identidade cujos espaçamentos de pico espectral são muito menores do que 11 nm. Assim, existe uma necessidade por uma técnica de análise adequada para a análise

espectroscópica de superfície de fundo de poço e no local de trabalho de amostras de hidrocarbonetos com resolução mais elevada.

### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

É descrita uma ferramenta de amostragem para proporcionar  
5 dados espectroscópicos para uma amostra a partir de um furo de sonda, a  
ferramenta possuindo o aparelho de amostragem para coletar a amostra e  
dispor pelo menos uma parte da amostra dentro de uma câmara de amostra:  
a câmara de amostra incluindo pelo menos um sensor óptico termicamente  
ajustável para interrogar a amostra e proporcionar dados de análise da a-  
10 mostra para um controlador, o controlador produzindo a partir dos dados de  
análise da amostra os dados espectroscópicos para a amostra.

Também é descrito um método para proporcionar dados espec-  
troscópicos para uma amostra a partir de um furo de sonda, o método inclu-  
indo coletar a amostra a partir do furo de sonda; dispor pelo menos uma par-  
15 te da amostra dentro de uma câmara de amostra, a câmara de amostra pos-  
suindo pelo menos um sensor óptico termicamente ajustável para interrogar  
a amostra e proporcionar dados de análise da amostra para um controlador;  
iluminar a amostra com uma série de faixas de passagem de emissões de  
comprimento de onda; detectar a série para produzir um sinal de detecção;  
20 proporcionar o sinal de detecção para um processador; e, processar o sinal  
de detecção para proporcionar os dados espectroscópicos.

Adicionalmente é descrito um produto de programa de computa-  
dor armazenado em meio legível por máquina e possuindo instruções para  
proporcionar dados espectroscópicos para uma amostra a partir de um furo  
25 de sonda, as instruções para coletar a amostra a partir do furo de sonda;  
dispor pelo menos uma parte da amostra dentro de uma câmara de amostra,  
a câmara de amostra possuindo pelo menos um sensor óptico termicamente  
ajustável para interrogar a amostra e proporcionar dados de análise da a-  
mostra para um controlador; iluminar a amostra com uma série de faixas de  
30 passagem de emissões de comprimento de onda; detectar a série para pro-  
duzir um sinal de detecção; proporcionar o sinal de detecção para um pro-  
cessador; e, processar o sinal de detecção para proporcionar os dados de

espectroscopia.

Aqui, exemplos de certos aspectos da invenção foram resumidos ao invés de amplamente descritos de modo que a descrição detalhada dos mesmos que se segue possa ser mais bem entendida e de modo que as  
5 contribuições que eles representam para a técnica possam ser apreciadas. Obviamente, existem aspectos adicionais da invenção que serão descritos daqui para frente e que irão formar o assunto das reivindicações anexas a este documento.

### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

10 Para entendimento detalhado da presente invenção, deve ser feita referência à Descrição Detalhada seguinte da Invenção, feita em conjunto com os desenhos acompanhantes, nos quais elementos iguais receberam números iguais, onde:

15 A figura 1 representa aspectos de amostragem em um furo de sonda com uma ferramenta de amostragem;

A figura 2 representa aspectos da ferramenta de amostragem;

A figura 3 representa uma câmara de amostra;

A figura 4 proporciona uma vista geral do micro-ajuste de um sensor óptico termicamente ajustável;

20 A figura 5 é um diagrama de blocos representando os componentes do sensor óptico termicamente ajustável;

A figura 6A e a figura 6B, coletivamente referidas como figura 6, representam aspectos de uma concretização de um emissor óptico ajustável;

25 A figura 7A e a figura 7B, coletivamente referidas como figura 7, representam aspectos de uma concretização de outro emissor óptico ajustável;

A figura 8 representa emissões versus comprimento de onda;

A figura 9 representa vários estados de ajuste para o sensor óptico termicamente ajustável;

30 A figura 10 representa os vários estados de ajuste da figura 9, considerando um filtro;

A figura 11 e a figura 12 representam aspectos de componentes

para o sensor óptico termicamente ajustável;

As figuras 13A até 13F, coletivamente referidas como figura 13, representam várias concretizações do sensor óptico termicamente ajustável utilizado na ferramenta de amostragem; e

5 A figura 14 representa aspectos de um procedimento ilustrativo para proporcionar dados de espectroscopia.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

As instruções neste documento proporcionam uma espectroscopia de alta resolução (HRS) por fazer uso de pelo menos um sensor óptico termicamente ajustável selecionado a partir de várias concretizações. Exemplos de sensores ópticos ajustáveis incluem sensores ópticos termicamente ajustáveis, Fabry-Perot, Compalint Micro Electromechanical System, e outros. Os sensores são utilizados para estimar, determinar, ou quantificar uma variedade de aspectos de amostras pegadas a partir do fluido da formação. As estimativas, determinações e quantificações são alcançadas através da coleta de espectros e da análise espectral. A coleta pode ser empreendida ou completada dentro do furo de poço 11 ou na "superfície", como pode ser desejado.

Como descrito neste documento, uma concretização do sensor que oferece certas vantagens em relação a outras concretizações é esta do sensor óptico termicamente ajustável. Por conseqüência, a descrição neste documento geralmente se refere aos sensores ópticos termicamente ajustáveis e às concretizações dos mesmos. Entretanto, deve ser reconhecido que o uso de sensores ópticos termicamente ajustáveis não é limitante das instruções neste documento. Por exemplo, em algumas concretizações, a referência ao sensor óptico termicamente ajustável pode realmente contemplar e abranger vários sensores ópticos termicamente ajustáveis. Em outras concretizações, o sensor óptico termicamente ajustável pode ser utilizado em conjunto com outros sensores, tal como o filtro de Fabry-Perot.

30 Um exemplo não limitativo de um filtro óptico termicamente ajustável é descrito na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos US/2005/0030628 A1, denominada "Very Low Cost Narrow Band Infrared

Sensor", publicada em 10 de Fevereiro de 2005, cuja revelação é incorporada por referência neste documento em sua totalidade.

Voltado agora para a figura 1, é representada uma seção transversal de solo 10 ao longo do comprimento de uma penetração referida como um "furo de sonda" 11. Normalmente, o furo de sonda 11 é pelo menos parcialmente cheio com uma mistura de líquidos, incluindo água, fluido de perfuração, e fluidos da formação, os quais são nativos da formação terrestre penetrada pelo furo de sonda 11. Suspensa dentro do furo de sonda 11 na extremidade inferior de um cabo elétrico 12 está a ferramenta de amostragem de fluido da formação 20. O cabo elétrico 12 freqüentemente é transportado através de uma polia 13 suportada por uma torre de perfuração 14. A disposição e a recuperação do cabo elétrico tipicamente são executadas por guincho motorizado transportado por um caminhão de serviço 15.

Uma concretização ilustrativa da ferramenta de amostragem 20 é esquematicamente ilustrada pela figura 2. A ferramenta de amostragem 20 tipicamente inclui uma montagem de vários segmentos da ferramenta que são unidos extremidade com extremidade pelas luvas com roscas ou por uniões de compressão mútua 23. O conjunto de segmentos da ferramenta apropriada para a presente invenção pode incluir uma unidade de energia hidráulica 21 e um extrator de fluido da formação 22. Abaixo do extrator 22, uma bomba de grande volume 24 é proporcionada para purgação da linha. Abaixo da bomba de grande volume 24 está uma bomba de pequeno volume similar 25 possuindo um volume de deslocamento menor que é quantitativamente monitorado. Via de regra, uma ou mais seções de módulo de tanque de amostra 26 são montadas abaixo da bomba de pequeno volume 25. Cada seção de módulo 26 tipicamente inclui pelo menos um tanque de amostra de fluido 30.

Nesta modalidade, o extrator de fluido da formação 22 inclui uma sonda de sucção extensível 27 que é oposta pelos braços de reserva 28. Tanto a sonda de sucção 27 como os braços de reserva opostos 28 são hidráulicamente extensíveis para de forma firme engatar com as paredes do furo de sonda 11. Os detalhes da construção e operacionais da ferramenta

de amostragem 20 são bem conhecidos na técnica. Por consequência, discussão adicional dos aspectos da ferramenta de amostragem 20 geralmente é omitida neste documento.

Os aspectos da câmara de amostra são representados na figura 3. Tipicamente, dentro da ferramenta de amostragem 20 está uma câmara de amostra 301. Nas concretizações não limitativas apresentadas neste documento, uma amostra 299 é disposta dentro da câmara de amostra 301. A amostra 299 é iluminada pelo sensor óptico termicamente ajustável 300. Na figura 3, o sensor óptico termicamente ajustável 300 tipicamente inclui um emissor óptico ajustável 120 e um detector 108, entretanto, os aspectos do sensor óptico termicamente ajustável 300 são discutidos em maiores detalhes abaixo. Como uma vista geral, o emissor óptico ajustável 120 produz alguma largura de banda de luz infravermelha (IR) cujo comprimento de onda central é ajustável e é detectado pelo detector 108 após passar através de uma amostra 299 (ou seja, um espectrômetro baseado na pré-filtragem de luz). Os comprimentos de onda de IR atravessam a amostra 299. O ajuste do sensor óptico termicamente ajustável 300 proporciona interrogação da amostra 299 para determinar a presença e outros aspectos de um constituinte de interesse na amostra 299. Alternativamente, um feixe de luz branca pode primeiro passar através da amostra 299 e então somente alguma parte da luz transmitida irá passar através do filtro termicamente ajustável e sobre o detector 108 (ou seja, um espectrômetro baseado na pós-filtragem de luz).

O sensor óptico termicamente ajustável 300 é acoplado com o equipamento como tipicamente é utilizado para processamento de sinal. O equipamento ilustrativo inclui, sem limitação, um processador, uma fonte de energia, uma memória, um armazenamento, um dispositivo de entrada e um dispositivo de saída. Como o equipamento de processamento de sinal é conhecido na técnica, e não é por si uma parte desta invenção, discussão adicional de tal equipamento geralmente é omitida neste documento.

Apesar de descrito neste documento em termos de possuir emissões infravermelhas e operar na região de infravermelho, é reconhecido que o sensor óptico termicamente ajustável 300 pode operar em outros

comprimentos de onda. Por exemplo, o sensor óptico termicamente ajustável 300 pode operar na região infravermelho próximo. Na verdade, apesar das presentes concretizações se referirem à operação na região de infravermelho (IR), as instruções neste documento poderiam fazer uso de qualquer emissão de comprimento de onda, onde um constituinte de interesse dentro de uma amostra possui uma banda de absorção. Portanto, o uso de IR neste documento é meramente ilustrativo dos aspectos da invenção e não limitativo da mesma.

Além disso, como utilizado neste documento, "constituente de interesse" geralmente faz referência a um componente químico da amostra 299. O constituinte de interesse tipicamente é o componente químico para o qual o sensor óptico termicamente ajustável 300 foi selecionado. Por exemplo, em uma concretização, monóxido de carbono (CO) é o constituinte de interesse. Nesta concretização, CO possui uma banda de absorção determinante em cerca de 4,7  $\mu\text{m}$ . À medida que o sensor óptico termicamente ajustável 300 possui uma faixa operacional óptica útil finita, o sensor óptico termicamente ajustável 300 é selecionado para ter a faixa operacional centrada ao redor de uma banda de absorção para CO, ou em cerca de 4,7  $\mu\text{m}$ . Os aspectos desta relação são representados em maiores detalhes na figura 4.

Na figura 4, uma série de diferentes emissões de faixa de passagem 305 é apresentada. A série de emissões de faixa de passagem 305 representada é indicativa de pelo menos uma parte da faixa operacional óptica do sensor óptico termicamente ajustável 300. A geração da série de emissões de faixa de passagem 305 ocorre no emissor 120 através de um processo referido neste documento como "microajuste", e também pode ser referido como "varredura" através da faixa operacional óptica 308. O sensor óptico termicamente ajustável 300 tipicamente é ajustado pela filtragem de banda larga com um filtro para seletivamente passar uma primeira emissão de faixa de passagem centralizada ao redor de um primeiro comprimento de onda, e então pelo ajuste da filtragem da emissão de banda larga para seletivamente passar uma segunda emissão de faixa de passagem centralizada ao redor de um segundo comprimento de onda de forma crescente maior (ou

menor). Por conseqüência, o sensor óptico termicamente ajustável 300 pode ser ajustado através da faixa operacional óptica 308. As bandas de absorção 304 do constituinte de interesse absorvem pelo menos uma parte de pelo menos uma faixa de passagem correlacionada de emissões dentro da série de emissões de faixa de passagem 305. Por conseqüência, o detector 108, o qual detecta um sinal para a faixa de passagem de emissões, passa a informação do sinal para um processador. O processador emprega técnicas conhecidas de processamento de sinal para determinar o significado de quaisquer alterações, tal como atenuação (referidas como "depressões") no sinal. O significado pode ser correlacionado com aspectos, tais como, sem limitação, identidade química e concentração.

Por conseqüência, os versados na técnica irão entender que vários sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 podem ser empregados para proporcionar análise espectral abrangente para a mostra 299. Ou seja, cada um dos vários sensores pode ser selecionado para analisar aspectos específicos da amostra 299. Nesta concretização, o processador proporcionar agregação de dados da amostra e provisão de dados abrangentes de análise espectral.

Apesar das instruções neste documento proporcionarem um espectrômetro de alta resolução utilizando um sensor óptico termicamente ajustável 300, é considerado que o termo "alta resolução" pode ser, pelo menos em alguns casos, um termo subjetivo. Para os propósitos da presente revelação, a espectrometria de alta resolução geralmente se refere à resolução de tipicamente mais do que 100 nanômetros para uma região infravermelha média do espectro eletromagnético, e tipicamente mais do que 10 nanômetros para uma região infravermelha próxima. Esta regra geral, entretanto, não é limitativa das instruções. Por exemplo, em termos práticos para a descrição neste documento, o termo "alta resolução" pode se referir à performance de espectroscopia que proporciona separação e resolução adequadas dos constituintes de interesse. Por conseqüência, enquanto os versados na técnica podem considerar que menos do que 100 nanômetros é desejável, tal performance pode nem sempre ser requerida. Por exemplo,

em alguns casos, o sinal derivado a partir da interrogação de um constituinte de interesse pode ser altamente separado de outro constituinte de interesse normalmente ocorrendo. Nestes casos, pode não ser necessário incluir resolução dentro de uma largura de banda arbitrariamente selecionada que pode ser desejada para outras avaliações.

Adicionalmente, e de acordo com as considerações de resolução, o termo "faixa de passagem" não é para ser limitação das instruções neste documento. Ou seja, "faixa de passagem" , como utilizado neste documento, geralmente proporciona a distinção entre bandas de comprimentos de onda geradas durante a micro-sintonização do sensor óptico termicamente ajustável 300. Na prática, as faixas de passagens de comprimentos de onda podem não ser muito estreitas, particularmente quando consideradas no contexto de outras aplicações não relevantes para estas instruções. É suficiente dizer que a série de faixas de passagens de (comprimento de onda) emissões 305 proporciona distinções adequadas (dentro da série) e fornece suporte para espectroscopia em um nível de performance aceitável. Na prática, a metade máxima da largura total real da faixa de passagem de comprimentos de onda irá depender de várias restrições, tal como as condições de construção e de operação (por exemplo, temperatura) para o sensor óptico termicamente ajustável 300.

Por conseqüência, os versados na técnica irão entender que o uso do pelo menos um sensor óptico termicamente ajustável 300 pode proporcionar a determinação com respeito a pelo menos um constituinte de interesse na amostra 299. Tipicamente, vários sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 estão incluídos em um instrumento para análise da amostra 299. Nestas modalidades, cada sensor óptico termicamente ajustável 300 dentre os vários sensores, possui uma faixa de operação 308 centralizada ao redor e microsintonizada ao redor de certos comprimentos de onda de interesse, os comprimentos de onda de interesse se correlacionando com bandas de absorção conhecidas para um constituinte. Desta maneira, os constituintes de uma amostra relativamente homogênea 299, podem ser determinados.

Voltando agora em maiores detalhes para o sensor óptico termicamente ajustável 300, um dos exemplos principais para ilustração de operação do sensor óptico termicamente ajustável 300 é um sensor de gás CO que utiliza um emissor óptico ajustável 120 (TOE) para direcionar luz infravermelha (IR) de banda estreita direta através de uma amostra de gás e sobre um detector 108. O sensor óptico termicamente ajustável 300 geralmente modula o comprimento de onda da luz IR para frente e para trás através dos aspectos de absorção espectral do CO, isto é, a partir de cerca de 4500 nm até cerca de 4700 nm.

Como é descrito em maiores detalhes abaixo, o TOE 120 inclui um emissor de corpos negros, que está associado com o sensor óptico termicamente ajustável 300, por proximidade com pouco ou nenhum acoplamento térmico, ou por integração direta, de modo que o emissor e o filtro estão termicamente acoplados. Na figura 5, a caixa com linhas tracejadas 118 representa uma associação entre um emissor 102 e um filtro óptico ajustável 104, de modo a formar o emissor óptico ajustável 120 (TOE). Tipicamente, o TOE 120 é realizado em uma dentre duas concretizações principais.

Em uma primeira concretização do TOE 120, um emissor fixo com um espectro e magnitude de saída constantes proporciona retro-iluminação para o filtro óptico ajustável 104. O emissor 102 e o filtro óptico ajustável 104 podem ser dispostos em um pacote único, tal como uma caixa ou como outro pacote adequado de componentes eletrônicos conhecido na técnica. O filtro óptico ajustável 104 tipicamente inclui um mecanismo de aquecimento (por exemplo, um resistor) para sintonização, onde o mecanismo de aquecimento é independente do emissor 102. O emissor 102 tipicamente está em uma temperatura constante, relativamente alta (por exemplo, entre cerca de 500°C e cerca de 10000°C) para proporcionar emissão intensa. Em contraste, a temperatura do filtro óptico ajustável 104 tipicamente é muito menor, e varia através de uma faixa de temperaturas (por exemplo, de cerca de 25°C até cerca de 4000°C). A variação proporciona a sintonização. Uma taxa de sintonização de comprimento de onda para temperatura de 0,6 nm/

°C é típica para materiais de germânio e para o projeto de IR-média. Tipicamente, as taxas de sintonização de comprimento de onda para temperatura são cerca de  $1,3E-04$  do comprimento de onda/°C central para o germânio, e  $6E-05$  do comprimento de onda/°C central para silício.

5                   No caso do emissor 102 montado próximo do filtro óptico ajustável 104 possuindo o mecanismo de aquecimento independente incorporado no mesmo, o emissor 102 é normalmente pelo menos alguma coisa termicamente isolado do filtro óptico ajustável 104, para evitar aberrações na sintonização. A separação térmica pode ser alcançada através de várias técnicas, incluindo proporcionar uma distância suficiente entre os elementos e  
10                   pelo empacotamento apropriado.

                    Como apresentado na figura 6A, proporcionar um retro-refletor parabólico de metal, elíptico ou com outro formato 60 para concentrar a emissão IR e guiar a mesma para uma abertura do filtro óptico ajustável 104, tipicamente aperfeiçoa a eficiência do emissor 102. Um refletor elíptico 60,  
15                   como apresentado na figura 6A, pode ser utilizado para focar novamente a luz a partir do emissor 102 para a abertura de entrada do filtro óptico ajustável 104. A figura 6B apresenta que durante o processo de varredura, a temperatura do emissor 102 permanece substancialmente constante pelo uso de  
20                   um primeiro circuito de aquecimento 131. Em contraste, a temperatura do filtro óptico ajustável 104 é periodicamente ciclada pelo uso de um segundo circuito de aquecimento independente 132.

                    Na figura 7A é representada uma segunda concretização do TOE 120, referido neste documento como TOE Integrado 121 (ITOE), o qual  
25                   inclui um acoplamento térmico com um emissor IR, através de separação mínima, ou por diretamente ligar o filtro óptico ajustável 104 com o emissor 102, tal como pelo uso de um material de ligação ou por outra técnica de fixação. Como com a primeira concretização do TOE 120, o emissor 102 e o filtro óptico ajustável 104 do ITOE 121 também podem ser dispostos em um  
30                   único pacote, tal como uma caixa ou outro pacote adequado de componentes eletrônicos, conhecido na técnica. Tipicamente, o refletor 60 é parabólico e incluído com o ITOE 121 para direcionar as emissões. O acoplamento tér-

mico causa que o filtro óptico ajustável 104 seja aquecido (por conseqüência, sintonizado) diretamente pelo emissor 102. Por conseqüência, o filtro óptico ajustável 104 não precisa de um mecanismo de aquecimento interno ou independente. Apesar do acoplamento térmico poder incluir pelo menos um acoplamento radiativo e um acoplamento condutivo, o acoplamento radiativo tipicamente é empregado como acoplamento radiativo que permite uma maior alteração na temperatura com respeito ao tempo. Nesta concretização, a temperatura do emissor 102 é periodicamente variada ao invés da operação em uma temperatura constante. A faixa de temperaturas tipicamente é entre cerca de 800°C até cerca de 1000°C. Isto tipicamente causa que o filtro óptico ajustável 104 seja aquecido através do acoplamento térmico entre cerca de 100°C e cerca de 400°C. Um perfil de aquecimento ilustrativo para essa relação é representado na figura 7B. A relação entre a faixa de temperaturas do emissor 102 e a faixa de temperaturas do filtro óptico ajustável 104 é disposta pela estrutura e dimensionamento apropriados, e por se proporcionar o filtro óptico ajustável 104, com camadas adequadas que absorvem comprimentos de ondas que o filtro óptico ajustável 104 não transmite, desse modo acentuando o acoplamento com o emissor 102.

Outras versões desta concretização podem utilizar diferentes faixas e relações de temperaturas. De forma vantajosa, somente um mecanismo de aquecimento é utilizado para o emissor 102. Assim, um emissor óptico ajustável totalmente integrado 121 pode ser fabricado em uma escala muito pequena.

É bem conhecido que à medida que a temperatura de um emissor de corpos negros aumenta, a emissão em qualquer dado comprimento de onda igualmente irá aumentar, como apresentado na figura 8. Portanto, pode-se esperar que a saída do ITOE 121 também aumentaria à medida que a sintonização continua (cujos aspectos são apresentados na figura 9). Tais variações na energia de saída geralmente são indesejáveis, especialmente se as variações forem excessivas. Entretanto, à medida que a capacidade de transmissão do germânio diminui à medida que sua temperatura aumenta, para filtros ópticos ajustáveis 104 que utilizam películas de germânio, a

diminuição na capacidade de transmissão tende a deslocar a iluminação de corpos negros aumentada à medida que o emissor 102 aquece (e, por consequência, sintoniza) o filtro óptico ajustável 104, resultando em intensidade de saída constante ou substancialmente constante, como apresentado na

5 figura 10. Notadamente, o filtro óptico ajustável 104 também é um emissor de corpos negros, o que adicionalmente contribui para o aumento geral de intensidade com respeito à temperatura. Estes fatores podem ser combinados para produzir um TOE 120 com intensidade de saída constante ou quase constante, à medida que o TOE 120 faz a varredura através dos comprimentos de onda desejados. Pequenas variações de saída podem ser compensadas no ou após o detector 108, via técnicas eletrônicas conhecidas na

10 técnica.

O sensor de gás CO sintoniza pelo menos um dentre o TOE 120 e o ITOE 121 utilizando um mecanismo térmico, tirando vantagem das propriedades termo-ópticas inerentes. O TOE 120 e o ITOE 121 são relativamente baratos de fabricar por técnicas conhecidas para deposição de película fina, tal como a deposição de feixe e, crepitação, e deposição química por vapor acentuada por plasma (PECVD). Adicionalmente, variações de projeto relativamente simples podem ser realizadas para proporcionar uma ampla

15 faixa de largura de banda. Incorporar um TOE em um sensor químico é portanto uma abordagem de baixo custo e que pode ser fabricada em volume para filtros IR ajustáveis e pode ser aplicada através de uma ampla faixa de comprimentos de onda alvo.

20

Referindo-se novamente à figura 5, uma concretização de um sensor de gás CO 100 inclui um emissor de corpos negros 102, um filtro óptico ajustável 104, uma câmara de amostra 299, um detector 108 e um controlador 110. O emissor de corpos negros 102 proporciona radiação de corpos negros de banda larga para o filtro óptico ajustável 102. O controlador 110 causa que o filtro ajustável 104 faça a varredura de sua transmissão

25 através de uma faixa de comprimentos de onda correspondendo ao perfil de absorção do CO. O filtro óptico ajustável 104 filtra a luz a partir do emissor 102 de modo a produzir luz filtrada com um espectro que também faz a var-

30

reduzida através da mesma faixa de comprimentos de onda. A luz filtrada a partir do filtro ajustável 104 entra na célula de gás multitrajeto 106, a qual é projetada para permitir que a luz filtrada passe várias vezes através da amostra de gás dentro da câmara de amostra 299. O detector 108 recebe a luz a partir da câmara de amostra 299 após a luz ter passado através de uma amostra, e produz um sinal de detecção correspondendo à luz recebida. O controlador 110 analisa o sinal de detecção para determinar se um pico de absorção está presente.

Várias estruturas alternativas do emissor podem ser selecionadas para a saída IR de vida longa, de baixo custo e intensa. Tipicamente, o emissor 102 menor possível é desejado de modo a proporcionar operação eficiente. Tais emissores 102 incluem chips de silício tratados de modo condutivo, membranas finas de silício, membranas finas de carbono tipo diamante, ou enrolamentos ou filamentos de metal (como utilizado neste documento, uma "membrana" pode incluir uma única camada fina de película, ou pode incluir várias camadas finas de película empilhadas uma sobre a outra). Ligas de Cr com Ni, Fe ou Al (tal como "nicromo" ou "kanthal") são boas escolhas para o emissor de enrolamento ou filamento de metal, porque elas podem operar no ar em  $1000^{\circ}$  C ou mais, com vida útil longa, sem exigir janelas que de outro modo iriam bloquear a emissão IR entre cerca de 4000 nm até cerca de 5000 nm.

O emissor de corpos negros 102 pode incluir uma superfície de silício que é texturizada com aspectos em nível de micron, resultando em um espectro de corpos negros alguma coisa mais estrito se comparado com uma película de silício simples. O espectro de corpo negro mais estreito permite um uso mais eficiente da energia fornecida para o emissor, desde que menos energia IR fora de banda é desperdiçada.

O filtro óptico ajustável 104 tipicamente é um filtro termo-óptico que proporciona uma resposta de transmissão de faixa de passagem na faixa de aspecto de absorção. Em geral, os filtros ópticos ajustáveis 104 descritos neste documento são filtros de faixa de passagem que foram desenvolvidos para a indústria de telecomunicações e para aplicações próximas ou em

1500 nm. Como é conhecido, estes filtros podem ter várias ou uma única cavidade, formato de linha Fabry-Perot, ou formato de linha de cima plano, e podem operar em várias larguras de banda. Tais filtros são ajustáveis por aquecimento ou resfriamento com películas internas condutivas ou com películas resistoras de metal. As concretizações descritas neste documento estendem esta tecnologia, principalmente desenvolvida para uso em 1,5 microm e utilizando silício amorfo, para comprimentos de onda mais longos de 3 até 12 micrômetros para uso na percepção de gás e na percepção de outras formas. Os princípios subjacentes são quase os mesmos, exceto que o germânio tipicamente é utilizado em vez do silício em vários casos para aplicações de IR-média, devido à capacidade de transmissão superior do germânio em comprimentos de onda IR média, e a maior taxa de sintonização de comprimento de onda para temperatura do germânio.

Para o uso na faixa de IR média (comprimento de onda de aproximadamente 2 até 5 microm), o filtro ajustável 104 é feito de películas finas de germânio e de monóxido de silício depositada em uma pastilha Silicon On Insulator (SOI). O filtro de película fina como tal, é projetado e fabricado utilizando métodos bem-conhecidos. Por exemplo, em uma concretização, o filtro óptico ajustável 104 é projetado com uma estrutura de película fina de três cavidades ressonantes, aproximadamente 20 camadas, e exibe uma região de transmissão "quadrada" que tem a largura de cerca de 0,1 microm (100 nm) no comprimento de onda de 4,55 microm, dentro da qual o filtro 104 é cerca de 90% transmissivo. Este número particular de cavidades, número de camadas, e estabelecimento de dimensões, é somente um caso ilustrativo para os propósitos desta descrição, e outras construções também podem ser utilizadas.

Referindo-se agora à figura 11 e à figura 12, uma concretização do filtro óptico ajustável 104 que inclui um pequeno recipiente, normalmente referido como pacote de caixa "TO8" 170, é apresentada. O filtro óptico ajustável 104 é montado em uma chapa 160, a qual funciona como a base do pacote de caixa 170. Ligações por fio conectam o anel da chapa 162 no filtro óptico ajustável 104 com pinos na chapa 130. Filtros de bloqueamento 144

na parte de cima da caixa 161 e na chapa 160 permitem luz somente dentro de uma largura de banda de cerca de 4000 nm até cerca de 5000 nm passar, desse modo excluindo luz estranha fora de banda.

O filtro óptico ajustável 104 é sintonizado pela variação de sua temperatura. Em um caso ilustrativo de um filtro baseado em germânio, com comprimento de onda central de 4,45 microm, um coeficiente de alteração do comprimento de onda central com temperatura, é cerca de 0,6 nm por °C, ou 60 nm para cada 100°C. A banda de absorção de CO possui uma estrutura de pico duplo de cerca de 4420 nm até cerca de 4900 nm. A percepção acontece pela sintonização do filtro óptico ajustável 104 através da inclinação que existe próxima do pico de absorção do CO a partir de cerca de 4450 nm até cerca de 4570 nm, a faixa de sintonização sendo cerca de 120 nm. Esta faixa de sintonização implica na sintonização de temperatura do filtro através de uma faixa de temperatura de cerca de 200°C. Outras seleções de variações de comprimento de onda podem ser utilizadas para aplicações particulares (isto é, detectando outros elementos químicos) ou para resolver problemas particulares. Por exemplo, uma característica de absorção de CO<sub>2</sub> ocorre apenas no lado curto do comprimento de onda do pico de absorção do CO, de modo que a sintonização entre dois comprimentos de onda ligeiramente maiores pode evitar a interferência a partir da absorção do CO<sub>2</sub>.

Apesar das concretizações descritas para o sensor óptico termicamente ajustável 300 utilizarem um emissor ajustável 102 para proporcionar variação espectral para detectar um pico de absorção química, outras concretizações utilizando configurações alternativas também podem ser utilizadas. Várias concretizações de um sensor óptico químico são apresentadas nas figuras 13A até 13F.

A concretização na figura 13A representa um ajuste na localização do filtro óptico ajustável 104 com respeito ao emissor 102. A fonte de radiação de corpo negro 150 (o emissor 102) produz radiação IR de espectro amplo (isto é, banda larga). Um filtro de película fina termoopticamente ajustável 152 (filtro óptico ajustável 104) é colocado em frente desta fonte 150 e o conjunto de circuitos associado faz a varredura do filtro 152 para várias

configurações de comprimento de onda. A radiação filtrada 154 passa através da câmara de amostra 301 contendo a amostra 299 a ser medida, e um detector de banda larga 158 mede a intensidade da radiação após a radiação passar através da amostra 299. O conjunto de circuitos associado mede a atenuação (uma "depressão") na intensidade da radiação com respeito ao comprimento de onda para determinar se um elemento químico particular está presente na amostra 299, e se estiver presente, a concentração química a partir da magnitude da depressão. O filtro 152 e a fonte 150 não estão termicamente acoplados, de modo que o filtro ajustável 152 inclui um elemento de aquecimento para variar a temperatura do filtro 152 independente da fonte 150. Em uma concretização, o elemento de aquecimento inclui um anel metálico de película fina depositado no filtro 152.

A figura 13B representa a configuração da figura 7, com o emissor 150 ligado com o filtro 152.

A concretização apresentada na figura 13C difere da concretização na figura 7 pelo fato de que o filtro ajustável 172 está localizado próximo do detector 162. Uma fonte de radiação de corpos negros 170 produz radiação IR de espectro amplo. A radiação de banda larga passa através da câmara de amostra 301 contendo a amostra 299, e o conjunto de circuitos associado (não apresentado) faz a varredura de um filtro com película fina termoopticamente ajustável 172 para admitir diferentes comprimentos de onda da radiação de banda larga para um detector de banda larga 174. O detector de banda larga 174 mede a intensidade da radiação da radiação IR filtrada a partir do filtro 172. O conjunto de circuitos associados para a "depressão" na intensidade de radiação com respeito ao seu comprimento de onda para determinar se um elemento químico particular está presente na amostra 299, e se estiver, a concentração química a partir da magnitude da depressão.

A concretização apresentada na figura 13D, acopla o filtro ajustável e o detector para formar um detector óptico ajustável (TOD). Esta concretização utiliza uma fonte de radiação de corpos negros 180 para produzir radiação IR com espectro amplo. A radiação de banda larga passa através da câmara de amostra 310 contendo a amostra 299. Após passar através da

amostra 299, uma combinação de filtro de película fina termo-opticamente ajustável com detector térmico de banda larga 182, recebe a radiação de banda larga. O conjunto de circuitos associados (não apresentados) aquece o filtro/detector 182 para fazer a varredura de diferentes comprimentos de onda, enquanto gravando a quantidade de energia requerida para aquecer o filtro/detector 182 até as temperaturas correspondentes. Quando menos radiação IR alcança o filtro/detector 182 (isto é, quando a amostra 299 absorve uma parte da luz IR), mais energia é requerida para alterar a temperatura (e, por conseqüência, o comprimento de onda) do filtro/detector 182. O conjunto de circuito externo utiliza este diferencial de energia para calcular a concentração química da amostra 299.

A configuração do TOD é útil se o filtro, o qual em virtude de seu mecanismo de sintonização deve ser aquecido, não irradia ele próprio muita radiação de corpos negros de modo a sobrepujar o detector próximo. O pacote contendo os componentes do TOD pode ser cheio com gás, tal como xenônio, para aperfeiçoar a resposta do detector termopilha.

A concretização da figura 13E utiliza uma única combinação de um emissor de corpos negros - detector de corpos negros / filtro termo-opticamente ajustável 190. A combinação é aquecida para emitir radiação infravermelha de faixa de passagem de varredura de comprimento de onda. Esta radiação passa duas vezes através da câmara de amostra 301 contendo a amostra 299 com o auxílio de um retro-refletor 192. A radiação retro-refletida é filtrada e absorvida na combinação de emissor/detector de corpos negros 190. Similar à concretização apresentada na figura 13D, o conjunto de circuito associado (não apresentado) aquece a combinação 190 para fazer a varredura de diferentes comprimentos de onda, enquanto gravando a quantidade de energia requerida para aquecer a combinação 190 até as temperaturas correspondentes. Quando menos radiação IR alcança a combinação 190, mais energia é requerida para alterar a temperatura (e, por conseqüência, o comprimento de onda) da combinação 190. O conjunto de circuitos externo utiliza este diferencial de energia para calcular a concentração química na amostra 299.

A concretização da figura 13F utiliza um emissor/detector de corpos negros 200 combinado para produzir radiação IR de banda larga que passa através da câmara de amostra 301 contendo a amostra 299. Um filtro de película fina termo-opticamente ajustável 202 reflete uma parte da faixa de passagem desta radiação IR. O conjunto de circuitos associado (não apresentado) faz a varredura do filtro 202 no comprimento de onda. O emissor / detector de corpos negros 200 absorve novamente a parte de faixa de passagem refletida da radiação IR após a radiação passar de volta através da amostra 299. Similar à concretização apresentada na figura 13D, o conjunto de circuito associado (não apresentado) aquece o emissor/detector 200 para fazer a varredura de diferentes comprimentos de onda, enquanto gravando a quantidade de energia requerida para aquecer o emissor/detector 200 até as temperaturas correspondentes. Quando menos radiação IR alcança o emissor/detector 200, mais energia é requerida para alterar a temperatura (e por consequência, o comprimento de onda) do emissor/detector 200. O conjunto de circuitos externo utiliza este diferencial de energia para calcular a concentração química na amostra.

Em geral, as concretizações descritas na figura 13A até a figura 13F estão estritamente inter-relacionadas, com os diferentes tipos de emissores e detectores em uso em diferentes comprimentos de onda. Em comprimentos de onda IR média, emissores de baixo custo incluem fontes quentes de corpos negros (por exemplos, fios quentes e membranas condutivas) e detectores de baixo custo incluem termopilhas não resfriadas ou dispositivos piroelétricos. Nos comprimentos de onda IR próxima, os emissores de baixo custo incluem LEDs, e os detectores de baixo custo são detectores de fóton; tal como fotodiodos PIN. Nos comprimentos de onda IR próxima, tanto as fontes como os detectores são muito mais eficientes do que estes utilizados para os comprimentos de onda IR média.

Como uma questão prática, estes fatores restringem o uso de uma implementação de um detector óptico ajustável (figuras 13D e 13E) para comprimentos de onda úteis na IR próxima (menos do que 2000 nm), onde a radiação a partir do filtro aquecido até cerca de 200°C até cerca de

300°C, comparada com a radiação IR sendo medida, não irá sobrepujar o detector. Para a espectroscopia de CO<sub>2</sub> (por exemplo), na banda sobremodular de 2000 nm, ou para outros gases residuais com absorção na faixa de 1400 nm até 1800 nm, um TOD pode ser utilizado. Nestes comprimentos de onda mais curtos, o emissor típico inclui um LED, desde que um emissor de corpos negros iria requerer uma temperatura de modo não prático alta para servir como uma fonte IR próxima eficaz.

Para comprimentos de onda mais longos, por exemplo, 4600 nm, o TOD pode ser impraticável porque o filtro quente irá sobrepujar um detector de termopilha colocado dentro de poucos milímetros de separação. Neste caso, a configuração do emissor óptico ajustável (figura 13B) é uma escolha melhor.

Uma configuração de filtro óptico ajustável (figura 13A e figura 13C), na qual o filtro ajustável empacotado é colocado em um sistema óptico de um modo tal a não ser associado com o emissor, nem com o detector, também é utilizada em concretizações alternativas. Todas as concretizações descritas neste documento são baseadas no filtro ajustável, seja ele implementado como TOE, TOD ou TOF.

Voltando novamente para uso do sensor óptico termicamente ajustável 300 para a análise de fluidos de fundo de poço, os versados na técnica irão reconhecer que a câmara de amostra 301 pode ser fabricada para considerar fluidos com alta viscosidade, ou outros aspectos da amostra 299. Ou seja, bombear a amostra 299 pode proporcionar a extrusão de uma película fina de fluidos. A película fina pode ser fisicamente separada do sensor óptico termicamente ajustável 300 pelo uso de materiais altamente transmissíveis (por exemplo, vidro com qualidade óptica). Em algumas concretizações, o sensor óptico termicamente ajustável 300 é proporcionado em um invólucro que suporta a imersão dentro da amostra 299, assim, proporcionando maior sensibilidade durante a análise.

Por conseqüência, medições espectrais para determinar ou estimar a fração molar ou o percentual de grupos químicos (aromáticos, olefinas, saturados) em uma amostra de óleo bruto ou de gás utilizando um sen-

sensor óptico termicamente ajustável 300, podem ser realizadas. Tais medições podem ser utilizadas para determinar ou estimar ou diretamente medir uma proporção de gás para óleo (GOR) nos fluidos da formação em um furo de poço 11.

5                   As instruções neste documento adicionalmente proporcionam o uso de sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 em várias concretizações. Por exemplo, em uma concretização, os sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 são utilizados com a ferramenta de amostragem 20 para proporcionar dados em tempo real. Observe que como utilizado neste documento, a geração de dados em "tempo real" é assumida significando a geração de dados em uma taxa que é útil ou adequada para a tomada de decisões durante ou simultaneamente com processos, tal como produção, experimentação, verificação, e outros tipos de levantamentos ou usos como podem ser escolhidos por um usuário. Como um exemplo não limitativo, as  
10                   medições em tempo real e os cálculos podem proporcionar para os usuários informações necessárias para fazerem ajustes desejados durante o processo de perfuração. Em uma concretização, os ajustes são permitidos em uma base contínua (na taxa de perfuração), enquanto em outra concretização, os ajustes podem requerer cessação periódica de perfuração para avaliação de dados. Por conseqüência, deve ser reconhecido que "tempo real" é para ser considerado no contexto, e não indica necessariamente a determinação instantânea dos dados, ou dar quaisquer outras sugestões acerca da frequência temporal da coleta e da determinação dos dados.

                    Em outras concretizações, os sensores ópticos termicamente  
25                   ajustáveis 300 são utilizados para proporcionar uma análise das amostras 299 remotamente recuperadas e distribuídas para a câmara de amostra 301 de um instrumento separado. Como um exemplo destas outras concretizações, os sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 podem ser empregados em uma ferramenta manual, em um equipamento de bancada no campo, em um equipamento de laboratório ou como um equipamento de  
30                   processo em linha. Mais especificamente, a presente invenção é adequada para uso em pelo menos um dentre uma configuração de exploração, um

oleoduto, uma refinaria e um laboratório.

Uma variedade de determinações ou de estimativas podem ser realizadas através da aplicação das instruções neste documento. Dados espectroscópicos produzidos de acordo com estas instruções podem incluir, sem limitação, qualquer um ou mais dentre: correlação de medições espectrais com propriedades físicas (Gravidade API, ponto de turvação, ponto de ebulição, pressão de precipitação de asfalteno, etc); propriedades químicas (número ácido, níquel, vanádio, enxofre, mercúrio, etc) do óleo bruto, a proporção,  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ , de isótopos de metano no gás natural (isto é, não dissolvidos em um líquido); determinações ou estimativas de proporção de fitano / pristano de óleo bruto, determinações ou estimativa de  $\text{H}_2\text{S}$  que é dissolvido no óleo bruto (absorvência NIR de 100% de  $\text{H}_2\text{S}$  é muito fraca, de modo que a absorvência de 10 ppm de  $\text{H}_2\text{S}$  é igualmente mais fraca); estimativa quanto a se a amostra de óleo bruto contém gás úmido ou gás seco ( $\text{C}_1$  vs  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$ ); determinações ou estimativas de  $\text{CO}_2$  no gás metano ou de  $\text{CO}_2$  dissolvido no óleo bruto; determinações ou estimativas de proporções,  $^{17}\text{O}/^{18}\text{O}$ , de isótopos de água; obtenção de cromatogramas de gás "sintético" de curso-escala (o envelope de  $\text{C}_1$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$  que é a distribuição de número de carbono do óleo); determinação ou estimativa dos isótopos  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  de gás metano enquanto ele ainda está dissolvido no óleo bruto líquido; determinação ou estimativa da porcentagem de contaminação do líquido filtrado da lama baseado no óleo, no furo de poço 11, particularmente se o óleo base estiver livre de aromáticos (diferente do óleo bruto) mas rico em olefinas (também diferente do óleo bruto); e, a quantificação de aromáticos, olefinas (uma classe química que é improvável de ocorrer no óleo bruto, mas é comum no líquido filtrado OBM), saturados, metano, etano, propano e butano. Apesar desta ser uma lista substancial de capacidades para a ferramenta de amostragem 20 equipada com o sensor óptico termicamente ajustável 300, esta lista não é considerada como sendo exaustiva e é meramente ilustrativa dos aspectos das instruções neste documento.

Adicionalmente, as instruções neste documento proporcionam a derivação de uma equação correlativa a partir do mapeamento, tal como

média quadrática mínima, quimiométricas ou uma rede neural para inferir propriedades físicas e químicas dos fluidos da formação de amostra ou de outros fluidos, até um grau não anteriormente pensado possível pela espectroscopia dentro do furo de poço 11. Estas instruções tiram vantagem da  
5 capacidade de rapidamente executar a espectroscopia de alta resolução ou a espectroscopia de modulação de comprimento de onda para encontrar picos espectrais em um ressalto de outro pico ou para altamente aperfeiçoar o sinal para ruído e tornar possível observar as alterações sutis (por exemplo, 10 até 20 partes por milhão (ppm) de H<sub>2</sub>S - anteriormente não possível quando executando a espectroscopia dentro do furo de poço 11) com espectroscopia de infravermelho médio (MIR) convencional com resolução inferior e de infravermelho próximo (NIR). Para aperfeiçoar a sensibilidade e permitir a detecção de quantidades traço de um gás com absorção fraca, a espectroscopia com modulação de comprimento de onda pode ser utilizada como  
10 descrito nas Equações 1 até 9 do Pedido de Patente US 20050099618, e incorporado neste documento em sua totalidade na Referência Cruzada acima.

Adicionalmente, as instruções neste documento proporcionam resolver as diferenças espectrais extremamente sutis entre o gás metano  
20 <sup>13</sup>C a partir do gás metano <sup>12</sup>C (posto que a pressão não é tão alta de modo a causar excessiva ampliação de pressão destes picos até o ponto em que eles se unem).

Devido às altas temperaturas de operação do sensor óptico termicamente ajustável 300, é esperado que a temperatura ambiente dentro do  
25 furo de poço 11 não seja problemática. Entretanto, em algumas concretizações, a ferramenta de amostragem 20 inclui resfriamento de sorção ou outro mecanismo de resfriamento para superar quaisquer questões de temperatura na operação em um ambiente de alta temperatura. Tipicamente, para o resfriamento de sorção, o sensor óptico termicamente ajustável 300 é colocado em contato térmico com uma fonte de água (líquida ou como hidrato).  
30 O sensor óptico termicamente ajustável 300 é resfriado à medida que a água é evaporada a partir do líquido ou liberada pelo hidrato. O vapor de água

resultante é sorvido por um sorvente, o qual se torna mais quente no processo. O sorvente transfere seu calor em excesso para o fluido do furo de poço com o qual ele está em contato térmico através do invólucro da ferramenta de amostragem 20.

5                   Adicionalmente, a ferramenta de amostragem 20 fabricada de acordo com as instruções neste documento, é bem adaptada para ambientes hostis, à medida que os sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 são fisicamente robustos. Ou seja, os sensores ópticos termicamente ajustáveis 300 são comparativamente insensíveis à vibração e a outros aspectos  
10 de vigilância de furo de poço aos quais alguns sistemas da técnica anterior são suscetíveis.

A figura 14 representa os aspectos de um procedimento de espectroscopia ilustrativo 1400. Na figura 14, proporcionar dados espectroscópicos para a amostra 299 pega a partir do furo de poço 11 exige coletar a  
15 amostra 1410, dispor pelo menos uma parte da amostra 1420 na câmara de amostra 301, iluminar a amostra 1430 com a série de faixas de passagem de emissões de comprimentos de onda; detectar a série 1440 com um detector para produzir um sinal de detecção; proporcionar o sinal de detecção 1450 para um processador; e processar 1460 o sinal de detecção para proporcionar  
20 os dados de espectroscopia.

Em suporte às instruções neste documento, vários componentes de computador, incluindo software, podem ser possuídos para proporcionar a operação e as análises do aparelho e método de espectroscopia descritos neste documento. Por consequência, é considerado que estas instruções  
25 podem ser implementadas como um conjunto executável por computador de instruções armazenadas em um meio legível por computador, compreendendo ROM, RAM, CD ROM, flash ou qualquer outro meio legível por computador atualmente conhecido ou desconhecido que quando executadas causam que um computador implemente o método da presente invenção.  
30 Estas instruções podem proporcionar a operação do equipamento, o controle, a coleta e análise de dados e outras funções julgadas relevantes pelo usuário.

Decisões de vários milhões de dólares sobre como desenvolver um reservatório (localizações do poço, tipos de instalações de produção, etc) são baseadas em vários fatores, tal como se um reservatório é ou não compartimentado. Enquanto uma membrana pode ser utilizada para separar gás de líquido para executar a análise de proporção isotópica de gás, também é possível avaliar a compartimentalização utilizando a análise de proporções de fitano / pristano de óleo bruto líquido ou por utilizar quaisquer outros aspectos de distinção, tal como quaisquer diferenças sutis não esperadas nos espectros do fluido que são capazes de serem resolvidas utilizando uma ferramenta de amostragem 20 possuindo capacidades para executar a espectroscopia de alta resolução. Por conseqüência, as instruções neste documento proporcionam uma ferramenta de amostragem 20 que proporciona as capacidades desejadas.

Enquanto a descrição precedente é direcionada para concretizações ilustrativas da invenção, várias modificações serão aparentes para os versados na técnica. É pretendido que todas as variações dentro do escopo das reivindicações anexas sejam abrangidas pela revelação precedente. Exemplos dos aspectos mais importantes da invenção foram resumidos ao invés de amplamente descritos de modo que a descrição detalhada dos mesmos que vem a seguir possa ser mais bem entendida, e de modo que as contribuições para a técnica possam ser apreciadas. Obviamente, existem aspectos adicionais da invenção que serão descritos daqui para frente e que irão formar o objeto das reivindicações anexas a este documento.

## REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta de fundo de poço para proporcionar dados espectroscópicos para uma amostra, a ferramenta compreendendo um filtro óptico termicamente ajustável.

5                   2. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com a reivindicação 1, adicionalmente compreendendo:

um emissor para produzir luz de banda larga que percorre ao longo de um caminho de luz que passa através da câmara de amostra;

10                   um detector para produzir um sinal de detecção correspondendo à luz que o detector receber, onde o detector é disposto no caminho da luz.

3. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com a reivindicação 2, adicionalmente compreendendo um refletor.

15                   4. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com a reivindicação 2, onde o emissor gera uma série de emissões de faixa de passagem dentro de uma faixa de operação.

5. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com a reivindicação 4, onde a faixa de operação está centralizada ao redor de uma banda de absorção para um constituinte de interesse na amostra.

20                   6. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com a reivindicação 1, onde os dados espectroscópicos compreendem pelo menos um dentre:

25                   uma correlação de medições espectrais para uma dentre propriedades físicas e identidade química; pelo menos uma dentre uma proporção de isótopos e uma quantidade de isótopos; pelo menos uma dentre uma determinação e uma estimativa de proporções de fitano para pristano; pelo menos uma dentre uma determinação e uma estimativa de uma quantidade de H<sub>2</sub>S dissolvido; um cromatograma de gás de curso-escala sintética; pelo menos uma dentre uma determinação e uma estimativa de uma porcentagem de contaminação de líquido filtrado de lama baseado em óleo; e, quantificação de pelo menos um dentre aromáticos, olefinas, saturados, metano, 30                   etano, propano e butano na amostra.

7. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com reivindicação 1, onde a amostra compreende uma mistura de água, fluido de perfuração e

fluido da formação.

8. Ferramenta de fundo de poço, de acordo com reivindicação 1, onde a câmara de amostra é compreendida dentro de uma dentre uma ferramenta manual, equipamento de bancada de campo, equipamento de laboratório e equipamento de processo em linha.

9. Método para proporcionar dados espectroscópicos de fundo de poço para uma amostra, o método compreendendo:

iluminar a amostra com uma série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda utilizando um filtro óptico termicamente ajustável;

detectar as emissões em série; e

processar as emissões detectadas para proporcionar dados espectroscópicos.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde iluminar compreende:

produzir luz possuindo um primeiro espectro de comprimento de onda; e

seletivamente filtrar o espectro para produzir luz filtrada compreendendo a série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda.

11. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde iluminar compreende microajustar a série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda através de uma faixa de operação.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, onde a faixa de operação pelo menos parcialmente correlaciona uma banda de absorção de um constituinte de interesse na amostra.

13. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde proporcionar dados espectroscópicos compreende utilizar uma ferramenta de amostragem para proporcionar os dados espectroscópicos.

14. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde proporcionar dados espectroscópicos compreende utilizar uma dentre uma ferramenta manual, um equipamento de bancada de campo, equipamento de laboratório

e equipamento de processo em linha.

15. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde proporcionar dados espectroscópicos compreende pelo menos um dentre:

5 correlacionar medições espectrais com propriedades físicas; determinar pelo menos uma dentre uma proporção de isótopos e uma quantidade de isótopos; pelo menos uma dentre determinar e estimar proporções de fitano para pristano; pelo menos uma dentre determinar e estimar um componente de H<sub>2</sub>S dissolvido; proporcionar um cromatograma de gás de curso-escala sintética; pelo menos uma dentre determinar e estimar uma  
10 porcentagem de contaminação de líquido filtrado de lama baseado em óleo; e, quantificar pelo menos um dentre aromáticos, olefinas, saturados, metano, etano, propano e butano na amostra.

16. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde a amostra compreende uma mistura de água, fluido de perfuração e fluido da formação.

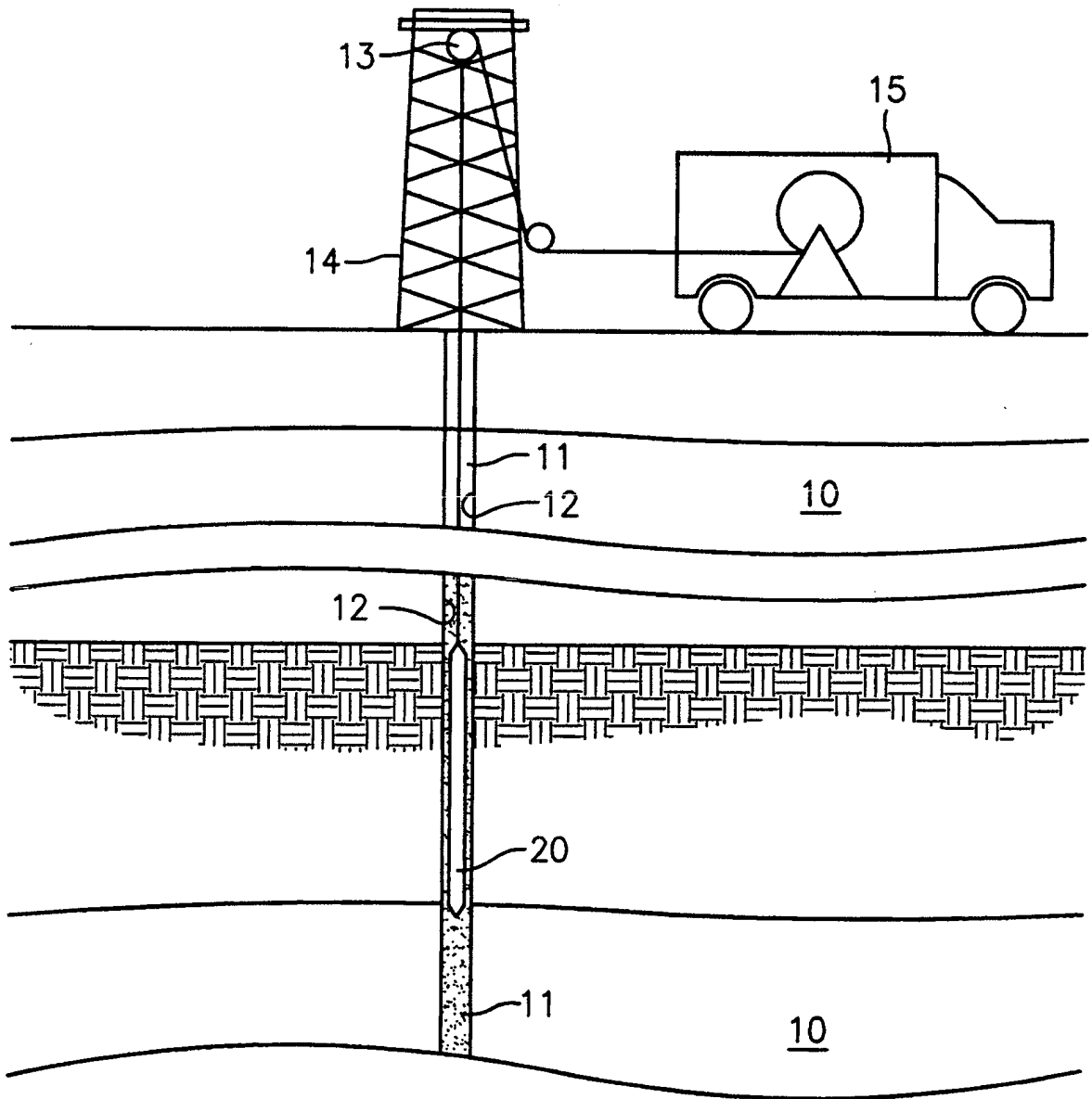
15 17. Método, de acordo com a reivindicação 9, onde produzir luz filtrada compreende variar uma temperatura do filtro óptico ajustável para produzir a série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda.

20 18. Produto de programa de computador armazenado em um meio legível por máquina e compreendendo instruções para proporcionar dados espectroscópicos de fundo de poço para uma amostra, as instruções para:

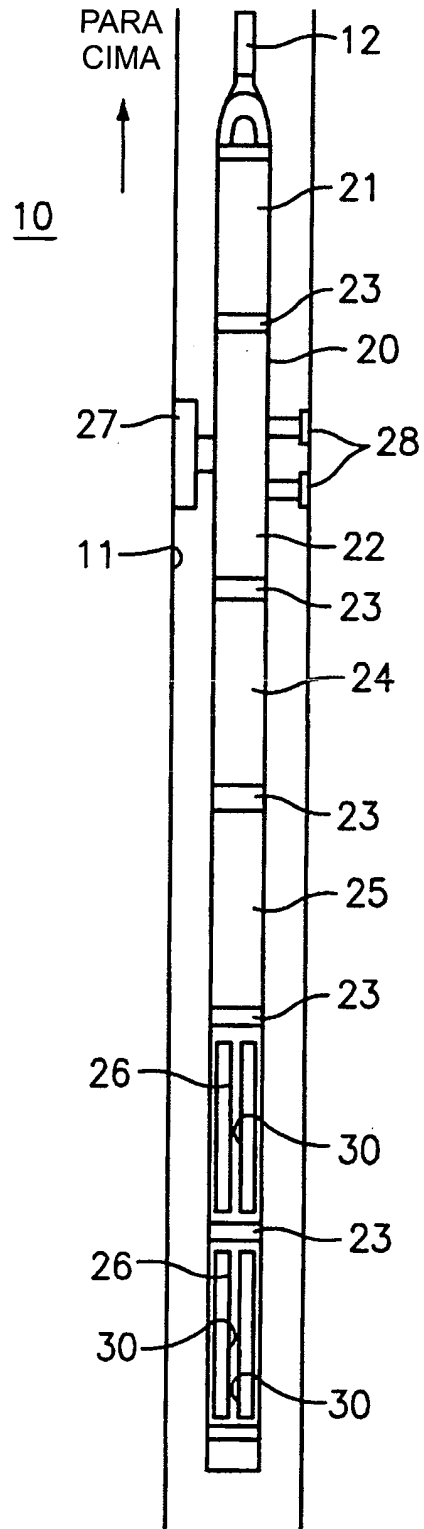
25 iluminar a amostra com uma série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda utilizando um filtro óptico termicamente ajustável;

detectar as emissões em série; e

processar as emissões detectadas para proporcionar dados espectroscópicos.



**FIG. 1**



**FIG. 2**

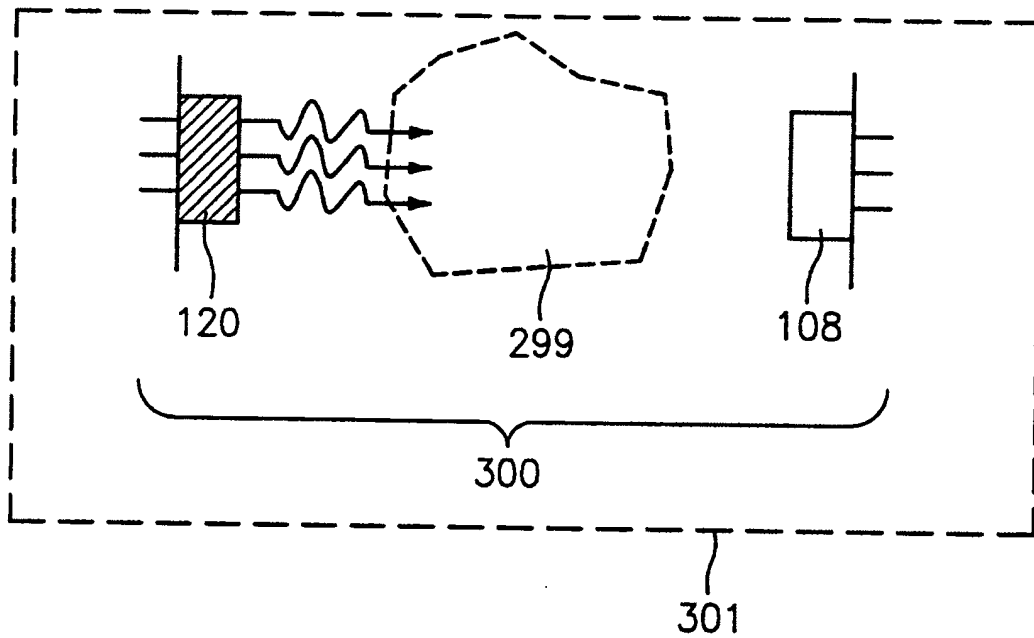


FIG. 3

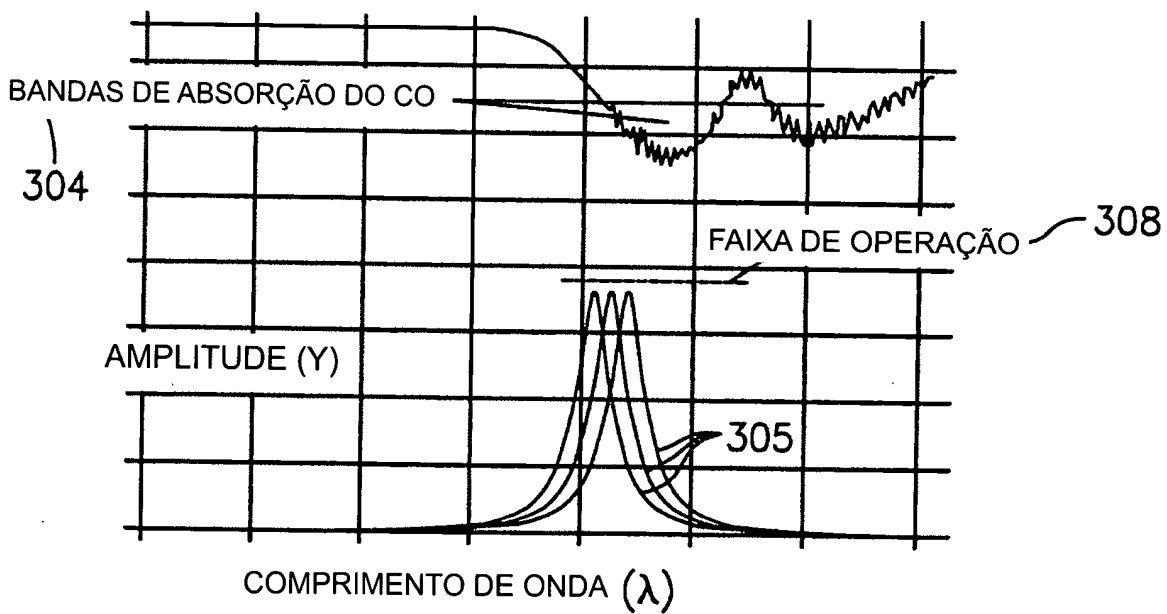


FIG. 4

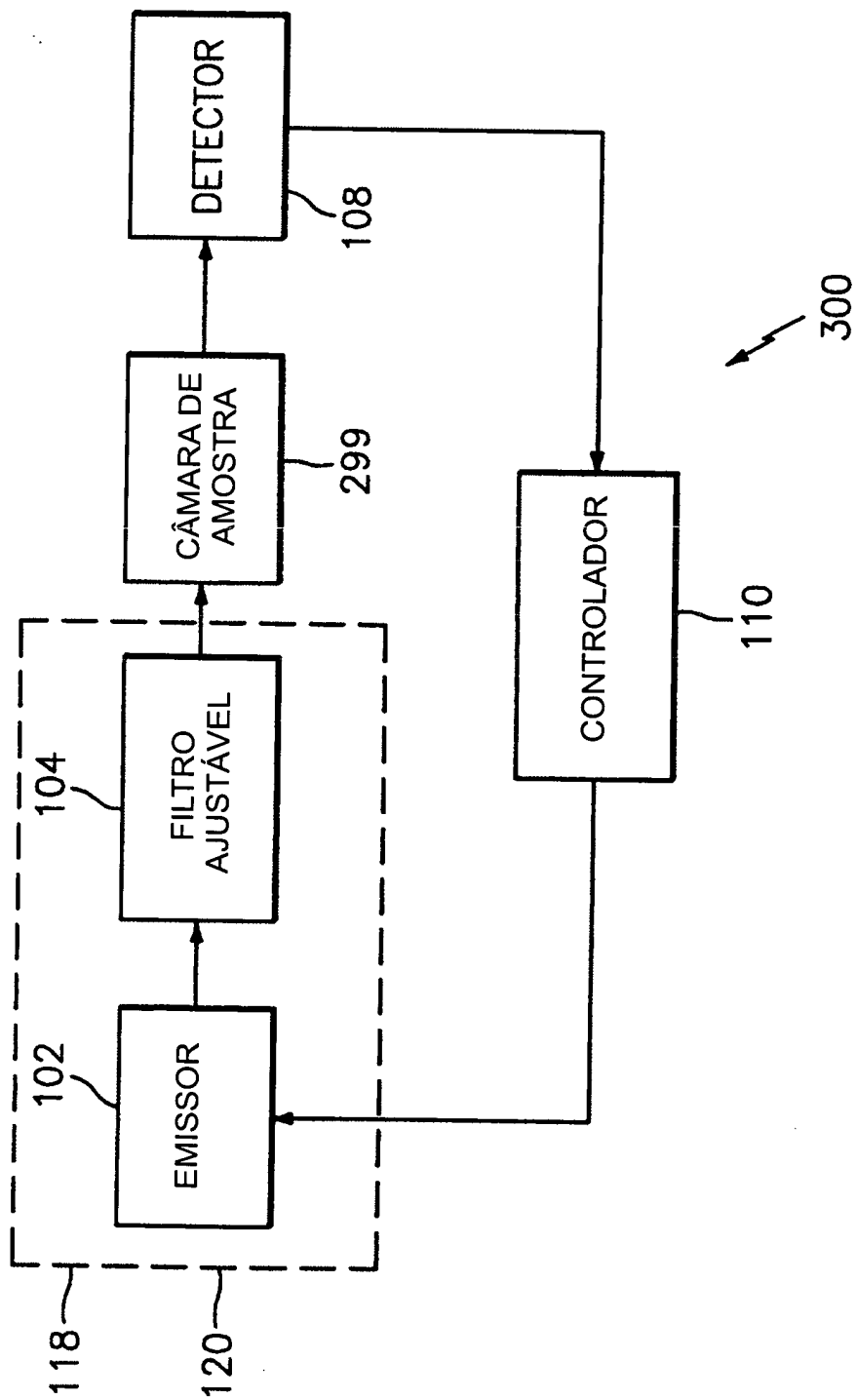
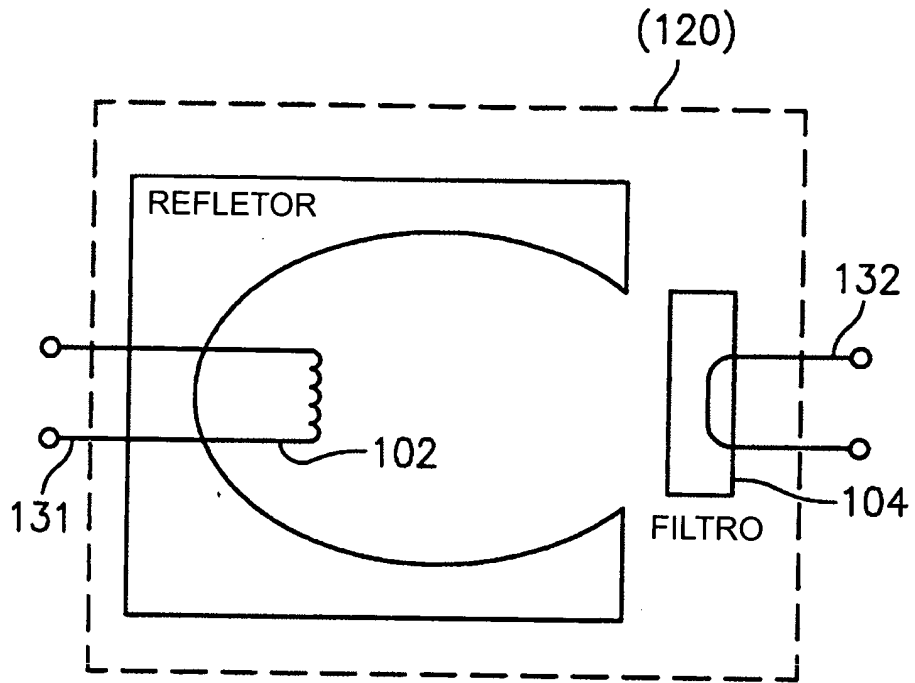
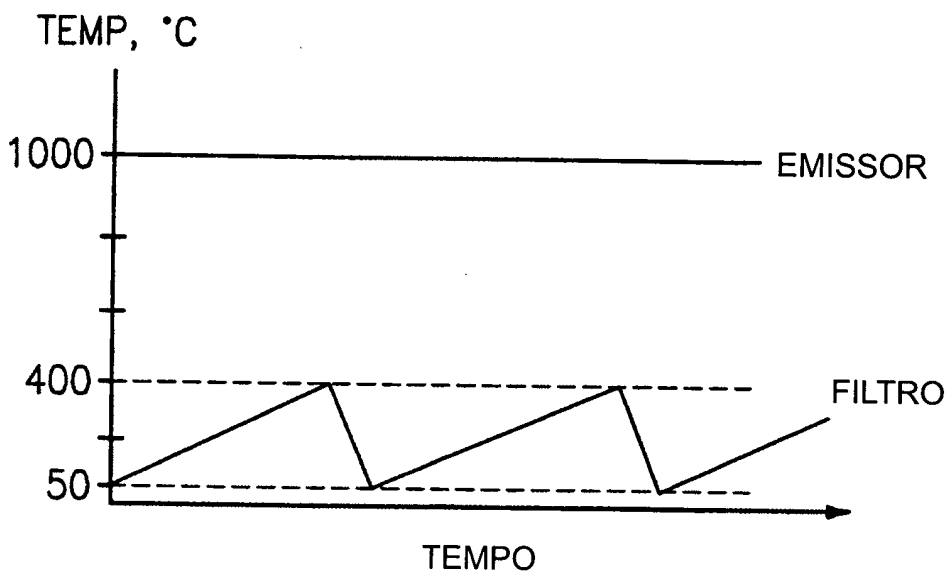


FIG. 5



**FIG. 6A**



**FIG. 6B**

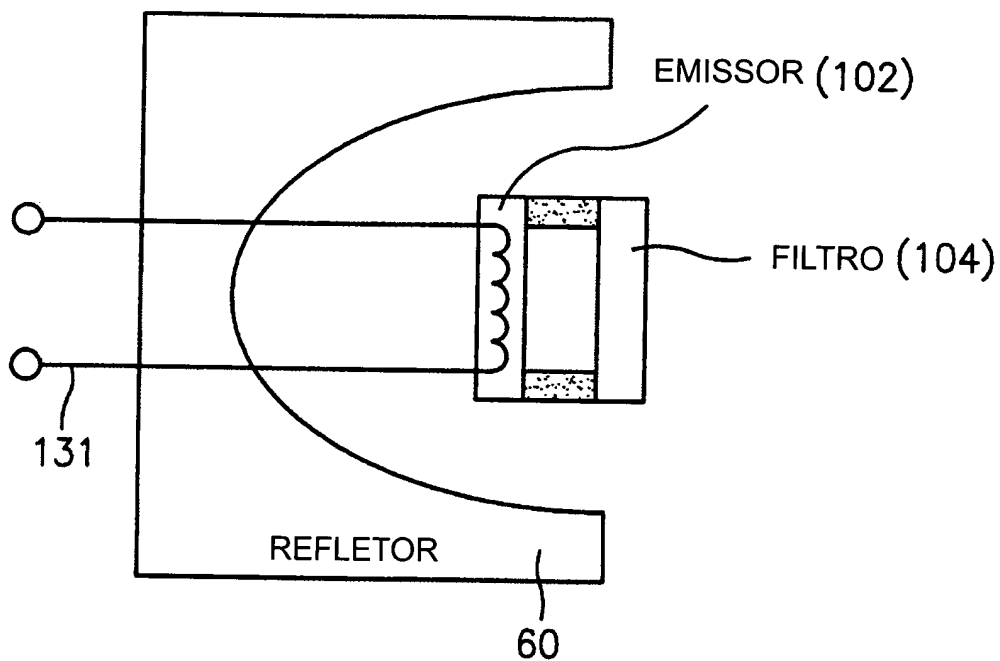


FIG. 7A

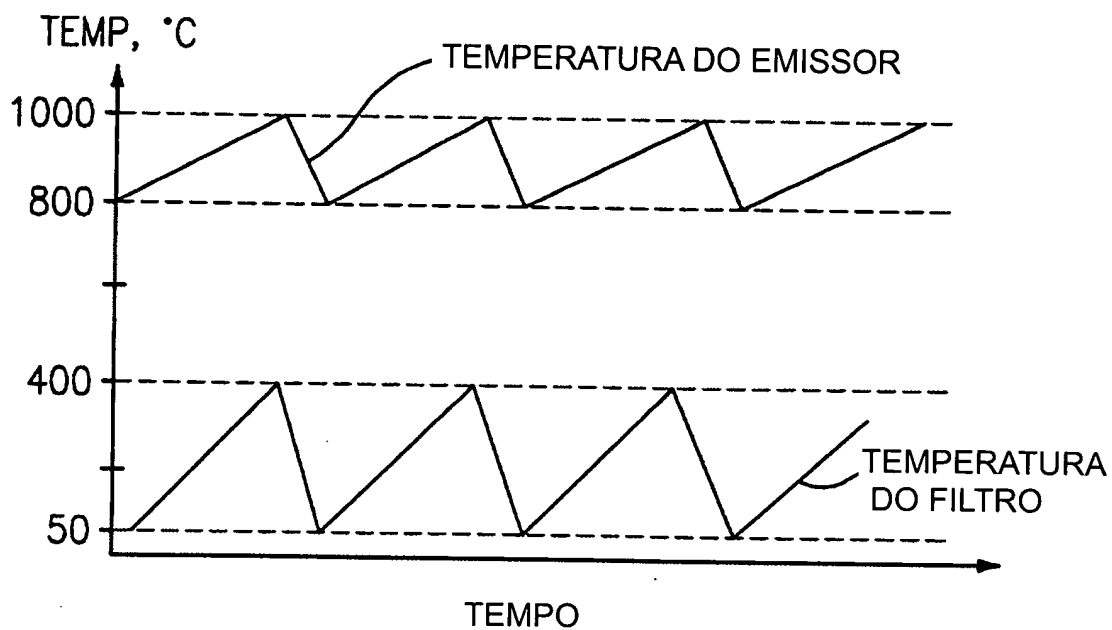
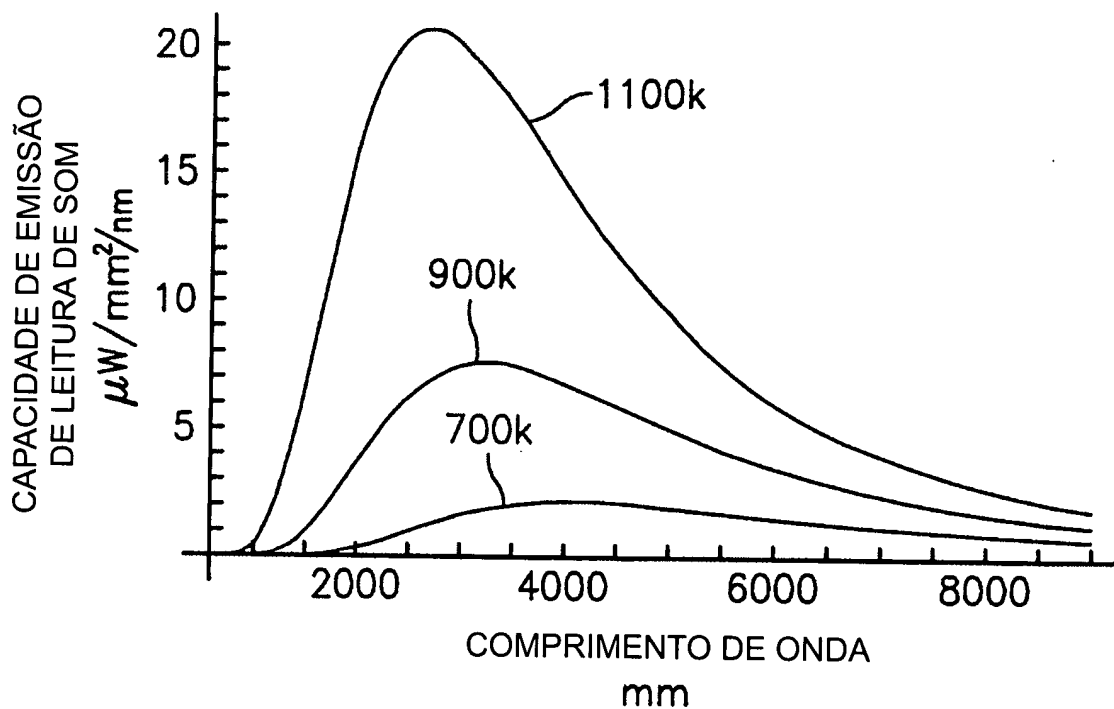
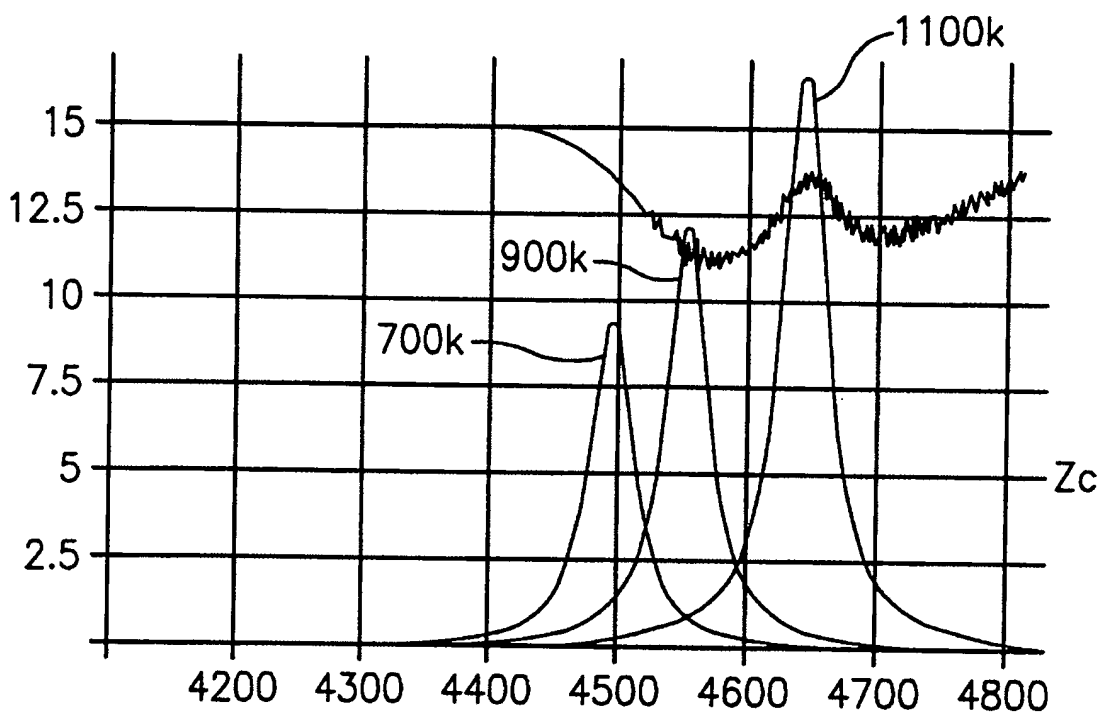


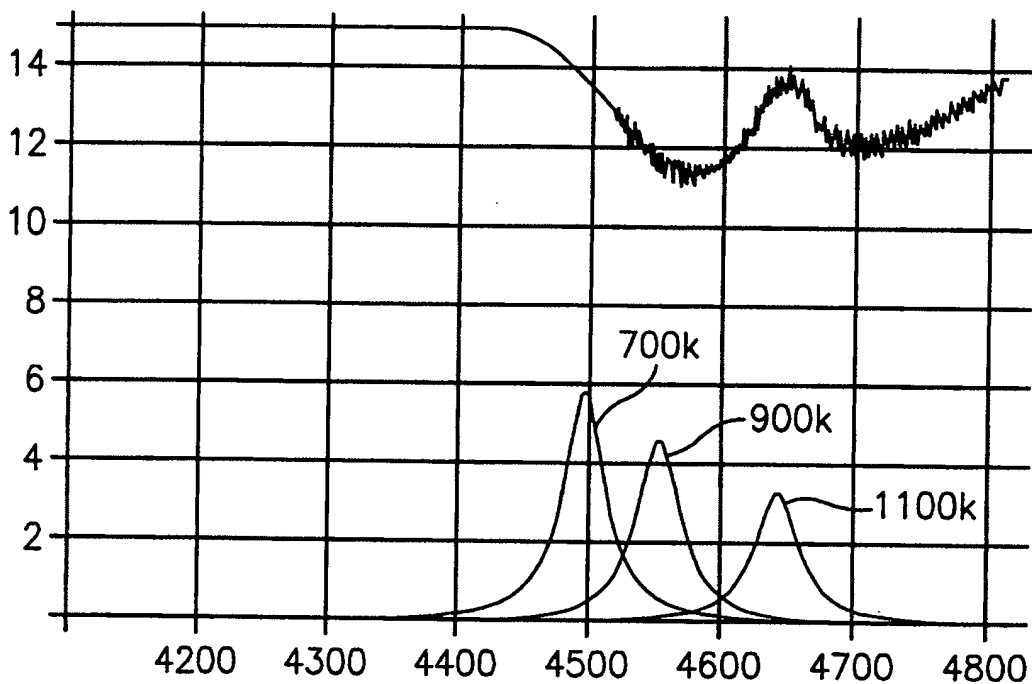
FIG. 7B



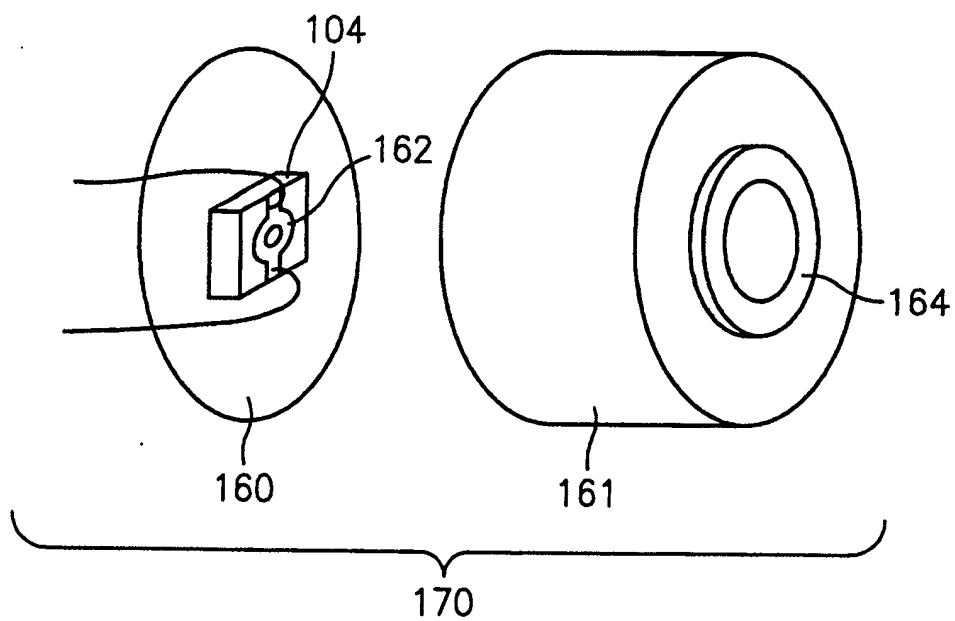
**FIG. 8**



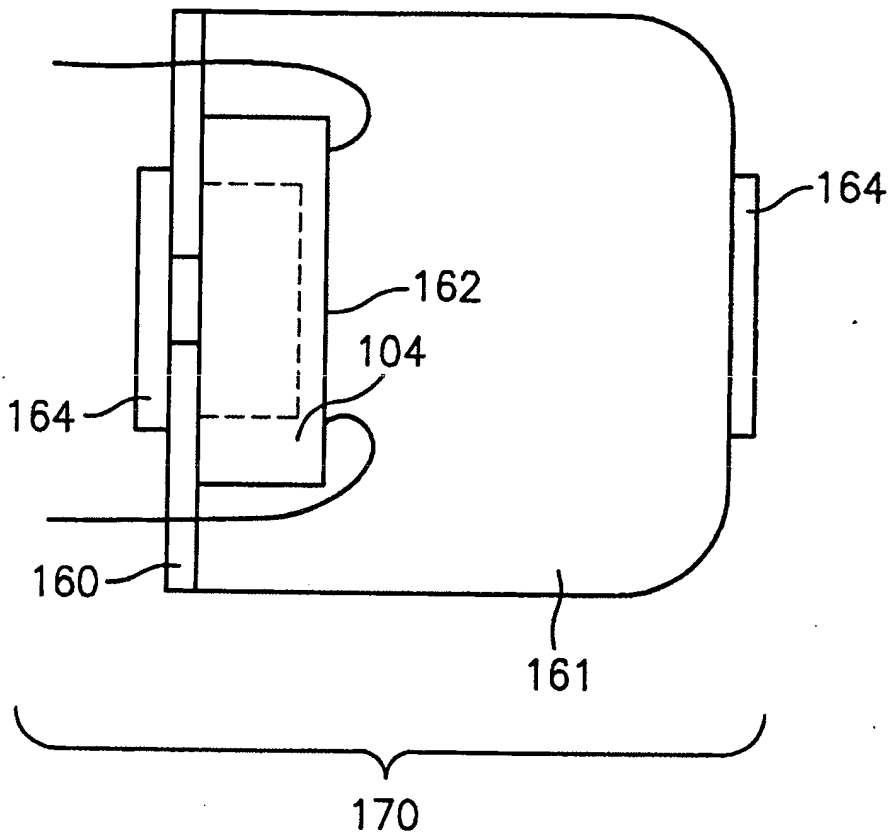
**FIG. 9**



**FIG. 10**



**FIG. 11**



**FIG. 12**

FIG. 13A

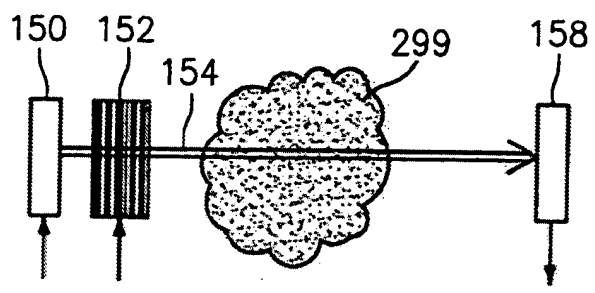


FIG. 13B

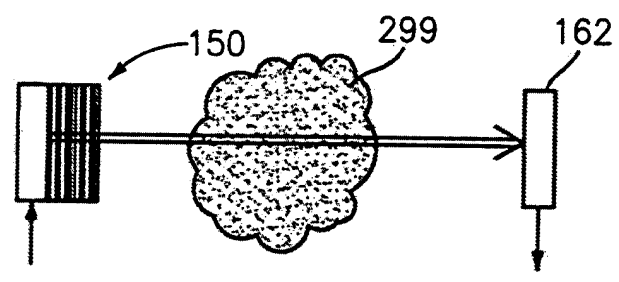


FIG. 13C

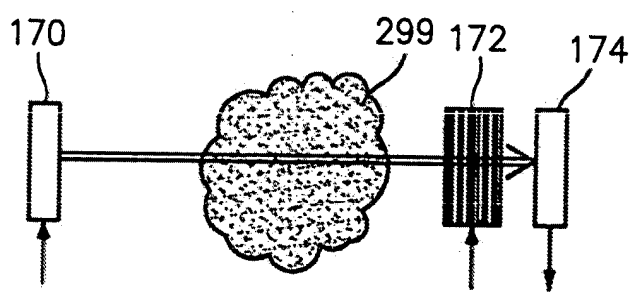


FIG. 13D

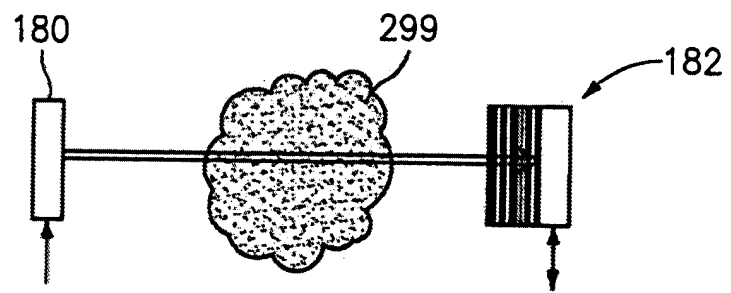


FIG. 13E

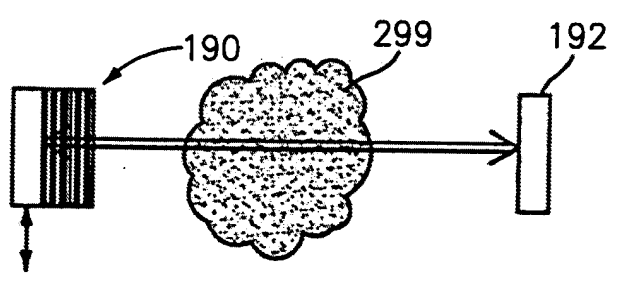
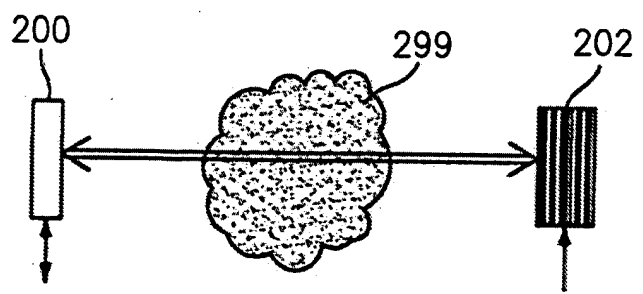
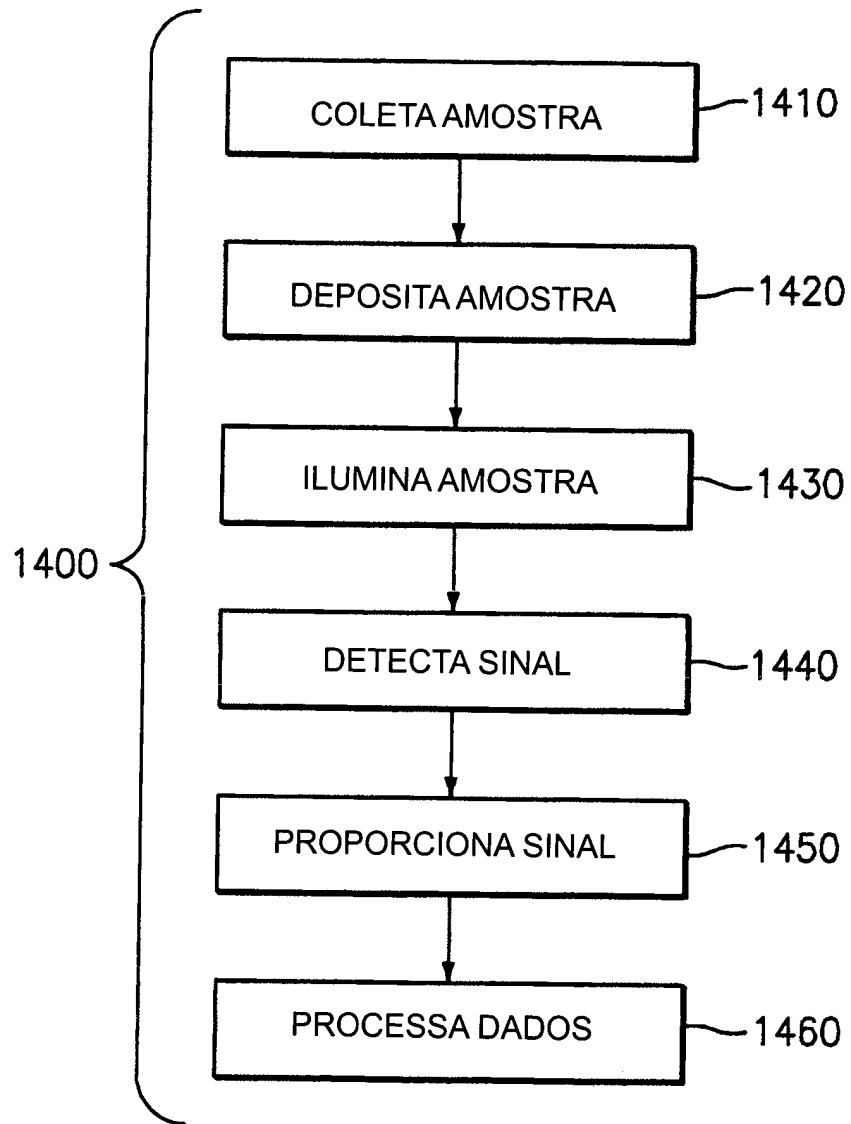


FIG. 13F





*FIG. 14*

**RESUMO**

Patente de Invenção: **"MÉTODO E APARELHO PARA UM ESPECTRÔMETRO DE FUNDO DE POÇO BASEADO EM FILTROS ÓPTICOS AJUSTÁVEIS"**.

- 5                   A presente invenção refere-se a sensores ópticos termicamente ajustáveis são utilizados em ferramentas de amostragem para análise de amostras a partir de um furo de poço. Os sensores ópticos termicamente ajustáveis geram uma série de faixas de passagem de emissões de comprimento de onda e detectam a atenuação em um sinal das mesmas. A atenuação detectada é processada e utilizada para determinar aspectos das amostras. A análise pode ser completada remotamente (fora do furo de poço), dentro do furo de poço (durante a perfuração ou em outra atividade), ou como uma parte de outro processo tal como gerenciamento, transporte e refinamento de fluido.
- 10