



\*PI 02129132\*  
\*PI 02129132\*

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

## CARTA PATENTE Nº PI 0212913-2

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0212913-2

(22) Data do Depósito: 21/02/2002

(43) Data da Publicação do Pedido: 17/04/2003

(51) Classificação Internacional: G01N 21/41; G01N 21/55

(30) Prioridade Unionista: 11/10/2001 US 09/975.161

(54) Título: MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO EM TEMPO REAL DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE INCRUSTRAÇÕES MINERAIS PROVENIENTES DE UM FLUIDO DE FORMAÇÃO E MÉTODO E SISTEMA PARA CONTROLAR A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTRAÇÕES MINERAIS PROVENIENTES DE UM FLUIDO DE FORMAÇÃO

(73) Titular: BAKER HUGHES INCORPORATED, Sociedade Norte-Americana. Endereço: 2929 Allen Parkway, Suite 2100, Houston, TX 77019, Estados Unidos da América (US).

(72) Inventor: J. KEVYN SMITH; C. MITCH MEANS; MINGDONG YUAN; JOHN L. PRZBYLINSKI; THOMAS H. LOPEZ

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 31/03/2015, observadas as condições legais.

Expedida em: 31 de Março de 2015.

Assinado digitalmente por:

**Júlio César Castelo Branco Reis Moreira**  
Diretor de Patentes

15 de Novembro

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

de 1889

**MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO EM TEMPO REAL DA TAXA DE  
DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES MINERAIS PROVENIENTES DE UM  
FLUIDO DE FORMAÇÃO E MÉTODO E SISTEMA PARA CONTROLAR A  
DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES MINERAIS PROVENIENTES DE UM  
FLUIDO DE FORMAÇÃO**

**Antecedentes da Invenção**

**1. Campo da Invenção**

[001] Essa invenção se refere a um método para uso em operações em campos de petróleo e em tubulações para monitorar e controlar a precipitação de incrustações minerais provenientes dos fluidos da formação. Essa invenção particularmente se refere a um método para monitorar e controlar a deposição de incrustações minerais que se originam provenientes dos fluidos da formação contidas em furos de poços, tubulações, e equipamentos relacionados.

**2. Fundamentos da Arte**

[002] Os fluidos de petróleo consistem primordialmente de óleo e água e são nesse ponto referidos como fluidos da formação. Um fluido de formação pode também conter óleo e compostos insolúveis em água tais como argila, sílica, ceras, e asfaltenos, que existem como suspensões coloidais.

[003] Adicionalmente aos componentes já mencionados, os fluidos da formação podem também incluir componentes inorgânicos que podem precipitar para formar incrustações minerais. O processo da precipitação de incrustações minerais é conhecido como incrustação. De interesse primário para essa invenção são as incrustações minerais e a incrustação. Os íons mais comuns de formação de incrustações são o cálcio e o bário, mas sódio, carbonato,

bicarbonato, cloreto, sulfato e estrôncio são também reconhecidos como espécies formadoras de incrustações. A classificação mais usual desses íons formadores de incrustações em combinação são: carbonato de cálcio, ( $\text{CaCO}_3$ ), sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$ ), e sulfato de estrôncio ( $\text{SrSO}_4$ ). Adicionalmente, existem espécies formadoras de incrustações menos comuns, tais como fluoreto de cálcio ( $\text{CaF}_2$ ), sulfeto de ferro ( $\text{Fe}_x\text{S}_{x+1}$ ), sulfeto de zinco ( $\text{ZnS}$ ), sulfeto de chumbo ( $\text{PbS}$ ) e cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ).

[004] A precipitação de incrustações é primordialmente afetada pelo misturar-se de águas incompatíveis produzidas e/ou alterações nas propriedades físicas intrínsecas do sistema do poço tais como, temperatura, pressão, turbulência do fluido, taxa de fluxo do fluido, e pH. Especificamente, onde a mistura de águas incompatíveis e/ou alterações nessas propriedades físicas intrínsecas ocorrem é particularmente vulnerável à precipitação de incrustações. Foi também identificado que equipamento de poço e equipamentos de convés à jusante desses locais são também suscetíveis à precipitação de incrustações no sistema do poço. Qualquer aderência de incrustações minerais às superfícies do sistema do poço pode estreitar as tubulações, e obstruir as perfurações no furo do poço, diversas válvulas de fluxo, e outros equipamento no local do poço ou no fundo do furo, o que resulta em falhas nos equipamentos situados no poço. Elas podem também frear, reduzir ou mesmo impedir totalmente o fluxo do fluido de formação para o interior do poço e/ou para fora da cabeça de poço. Esses efeitos também se estendem às instalações de

armazenamento de cru os quais incorrem em problemas de manutenção ou de capacidade quando as precipitações de incrustações permanecem não detectadas por períodos prolongados de tempo.

[005] Como um resultado desses problemas mencionados, durante a produção de petróleo nos poços de produção, a perfuração de poços novos, ou de recondiçionamentos dos poços existentes, muitos produtos químicos, aqui referidos como "aditivos", os quais incluem inibidores de incrustações, são freqüentemente injetados a partir de uma fonte na superfície para o interior dos poços para tratar os fluidos da formação que fluem através de tais poços para prevenir ou controlar a precipitação de incrustações minerais. Adicionalmente ao controle das precipitações de incrustações minerais, os aditivos são também injetados para o interior de poços produtivos para, dentre outras coisas, estimular a produção ao longo do poço, lubrificar o equipamento de fundo de poço, ou para controlar a corrosão, e a formação ou a precipitação de asfaltenos, parafinas, emulsões e hidratos.

[006] Todos esses produtos químicos ou aditivos são usualmente injetados através de um conduto ou tubulação que é percorrida desde a superfície até uma profundidade conhecida dentro da formação. As tubulações e equipamentos de superfície (de convés) podem ser também protegidos através da injeção contínua ou do tratamento em batelada de aditivos diretamente para o interior do sistema, tipicamente à montante da localização do problema. Adicionalmente, um aditivo pode ser injetado para o interior de uma formação próxima do furo do poço por meio

de uma técnica comumente referida como tratamento por "espremedura", a partir do qual o aditivo pode ser lentamente liberado para dentro do fluido de formação. Também, produtos químicos são introduzidos em conjunto com bombas elétricas submersíveis, como mostrado, por exemplo, na Patente U.S. No. 4.582.131, ou através de uma linha auxiliar associada com um cabo usado com a bomba elétrica submersível, tal como mostrado na Patente U.S. No. 5.528.824.

[007] A fim de injetar de modo eficaz os aditivos para o interior de um fluido de formação com o objetivo de controlar a formação de incrustações, é necessário conhecer o quanto do aditivo é requerido. Atualmente, a tendência de formação de incrustações e a ocorrência de incrustações são avaliadas tipicamente por meio do uso de um cupom de incrustações in-situ ou contando com amostras de água derivadas a partir da produção ou das fontes de injeção. Amostras das águas do campo fora das linhas são tipicamente analisadas quanto à concentração de íons tanto no campo ou essas amostras são enviadas para um laboratório fora do local onde a análise instrumental é utilizada para determinar as concentrações relativas dos íons formadores de incrustações contidos em uma dada amostra de água. Novamente, uma outra abordagem fora das linhas para prever e monitorar a tendência e a ocorrência de incrustações é o uso de cupons que requerem suas retiradas do sistema do poço para inspeção tanto no campo ou em uma instalação fora do local. Estabelecido de modo simples, existe uma necessidade quanto a uma técnica de monitoramento in-situ em tempo real, para detectar o começo

da deposição de incrustações em um sistema de produção ou de injeção, onde fluidos a alta pressão, em turbulência e/ou multifase possam existir.

### **Sumário da Invenção**

[008] Em um aspecto, a presente invenção é um método para a determinação em tempo real da deposição de incrustações minerais a partir de um fluido de formação compreendendo: A) colocar uma sonda ótica na qual a superfície da sonda pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda, em contato com um fluido de formação produzido ou que está sendo produzido a partir de um poço de petróleo; B) medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda; e C) determinar o começo e a taxa, se houver, da deposição de incrustações minerais proveniente do fluido de formação como uma função das alterações no índice refrativo na superfície da sonda; onde i) a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo está em contato com o fluido de formação; ii) a sonda, incluindo a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo, é composta de um material que pode suportar um período prolongado de contato com o fluido de formação nas temperaturas e nas pressões presentes nos poços de petróleo; e iii) a determinação em tempo real da taxa de deposição de incrustações provenientes da formação.

[009] Em um outro aspecto, a presente invenção é um método para controlar a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação compreendendo: A) colocar uma sonda ótica possuindo uma superfície que pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da

sonda, em contato com um fluido de formação produzido ou que está sendo produzido a partir de um poço de petróleo; B) medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda; C) determinar o começo e a taxa, se houver, da deposição de incrustações minerais proveniente do fluido de formação como uma função das alterações no índice refrativo na superfície da sonda; D) comparar a taxa, se houver, da deposição de incrustações minerais, a uma faixa predeterminada de deposição aceitável de incrustações minerais; e E) efetuar uma alteração na taxa de adição, se houver, ao fluido de formação de um aditivo efetivo para prevenir a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação; onde: i) a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo está em contato com o fluido de formação; ii) a sonda, incluindo a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo, é composta de um material que pode suportar um período prolongado de contato com o fluido de formação nas temperaturas e nas pressões presentes nos poços de petróleo; iii) a determinação da taxa de deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação ocorre em tempo real; e iv) a taxa de adição, se houver, ao fluido de formação do aditivo efetivo para prevenir a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação é: (1) aumentada quando o começo da deposição de incrustações minerais é detectado ou a taxa de deposição de incrustações minerais é maior que as da faixa de deposição aceitável de incrustações minerais; (2) diminuída quando não é detectada deposição de incrustações

minerais ou a taxa de deposição de incrustações minerais é menor que as da faixa de deposição aceitável de incrustações minerais; e (3) inalterada quando não é detectada deposição de incrustações minerais ou a taxa de deposição está dentro da faixa de deposição aceitável de incrustações minerais.

[010] Ainda em um outro aspecto, a presente invenção é um sistema para controlar a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação compreendendo um caminho do fluxo de fluido para fluir o fluido de formação recuperado a partir de uma formação de sub-superfície; uma sonda ótica possuindo uma superfície de sonda que pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda, associado com o fluido de formação no caminho do fluxo de fluido fornecendo dados correspondentes à taxa de deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação no caminho do fluxo de fluido; e um processador para determinar a partir dos dados a taxa de deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação.

[011] Seria desejável na arte de produzir fluidos da formação e de transporta-los para as refinarias e/ou para locais de disposição ser capaz de monitorar a formação de incrustações em um poço de petróleo, uma tubulação, e nos equipamentos relacionados se a monitoração pudesse ser feita em tempo real e num modo de custo eficiente.

#### **Breve Descrição dos Desenhos**

[012] Para uma compreensão detalhada e melhor apreciação da presente invenção, deverá ser feita referência à descrição detalhada a seguir da invenção e das

modalidades preferidas, tomadas em conjunto com os desenhos que a acompanham.

[013] A Figura 1 é uma ilustração esquemática de um sistema no local do poço para a monitoração da magnitude da ocorrência de incrustações que chega a uma cabeça de poço e a injeção de produtos químicos em resposta às quantidades monitoradas de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[014] A Figura 2 é uma vista expandida da seção A da Figura 1.

[015] A Figura 3 representa a magnitude da resposta do detector para salmouras que contêm íons de calcita ou barita formadores de incrustações.

[016] A Figura 4 demonstra a correlação entre a resposta tempo-dependente do detector (inserção) e o respectivo aumento tempo-dependente de pressão proveniente da deposição de incrustações em uma corrente de fluido onde a salmoura foi tratada com diversos inibidores de incrustações na mesma concentração.

[017] A Figura 5 demonstra adicionalmente a correlação entre a resposta tempo-dependente do detector (inserção) e o respectivo aumento de pressão resultante da deposição de incrustações em uma corrente de fluido onde a salmoura foi tratada com várias concentrações do mesmo inibidor.

[018] A Figura 6 demonstra as capacidades seletivas de monitoração dessa invenção para detectar o começo de diferentes concentrações de incrustações de calcita em fluidos mistos (óleo e água) similar àqueles encontrados no campo.

### **Descrição Detalhada da Invenção**

[019] A presente invenção se refere a um sistema e método para monitorar e controlar a formação de incrustações. O sistema pode ser usado em um local de poço, uma tubulação, e outros locais onde o fluido de formação, óleo ou outras misturas complexas sujeitas à precipitação de incrustações minerais são produzidas, transportadas, armazenadas ou usadas.

[020] Na prática da presente invenção, uma sonda ótica possuindo uma superfície de sonda que pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda, é colocada em contato com um fluido de formação produzido ou que está sendo produzido a partir de um poço de petróleo. Se o fluido de formação em contato com a sonda está precipitando incrustações minerais, uma parte das incrustações minerais irá se precipitar por sobre a superfície da sonda. As incrustações sobre a superfície da sonda resultam em uma alteração medida no índice refrativo na superfície da sonda.

[021] Em uma modalidade da presente invenção, uma primeira medição da alteração do índice refrativo na superfície da sonda está correlacionada com a magnitude da precipitação de incrustações que está ocorrendo na corrente de fluido no momento da medição. Essa medição em tempo real pode, então, ser usada para produzir um cálculo preliminar no que se refere à quantidade de inibidor de incrustações para reduzir a formação de incrustações em um nível aceitável. O cálculo propriamente dito pode ser experimental ou empírico, sendo preferivelmente feito com base em experiências anteriores da extensão da formação de incrustações para o fluido de formação particular que está

sendo monitorado.

[022] Em uma outra modalidade da presente invenção, o fluido de formação já está sendo tratado com um nível predeterminado de inibidor de incrustações e o fluido de formação tratado resultante possui um nível mensurável de formação de incrustações. A alteração no índice refrativo na superfície da sonda é mensurada e comparada tanto a uma faixa predeterminada e a medições anteriores, se houver. Se não existir diferença em relação às medições anteriores ou se a medição estiver dentro de uma faixa predeterminada, um sinal ou nenhum sinal é enviado para um controlador ou controladores, que gerencia(m) o nível dos tratamentos de inibidores de incrustações, para manter a taxa de tratamento atual ou existente.

[023] Se a diferença nas medições está fora da faixa predeterminada, ela indica que uma quantidade indesejável de incrustações minerais ou se precipita ou será precipitada para fora da solução e se torna depositada em algum lugar no furo do poço, tubulação, instalações de transporte ou de armazenamento como possa ser o caso. Isso é indesejável, e desse modo nesse caso, um sinal é enviado por meio do controlador ou dos controladores para adaptar os ajustes ou as taxas a fim de controlar, prevenir, inibir ou de outro modo amenizar a formação de incrustações. As adaptações são feitas de acordo com a natureza e a quantidade da diferença. Na maioria dos casos, são requeridos aditivos adicionais para reduzir ou eliminar a formação adicional de incrustações.

[024] Um outro modo de se determinar se é o caso de se fazer mudanças ou ajustes de um tratamento, tal como uma

injeção de produto químico, é comparar as medições da alteração no índice refrativo na superfície da sonda no caminho do fluxo com um material de referência. Preferivelmente, o material de referência é uma amostra de fluidos do reservatório nos quais a formação de incrustações está em um nível aceitável.

[025] Muitos modos químicos, físicos e espectroscópicos de detecção e medição da formação de incrustações no fluido de formação são utilizados em laboratório. As medições da formação de incrustações, no local, em tempo real ou substancialmente em tempo real são preferidas e são desse modo providas na presente invenção. Para os propósitos da presente invenção, no local significa em proximidade bem perto do fluido de formação que está sendo monitorado com os métodos da presente invenção.

[026] Embora qualquer método conhecido por aqueles com experiência na arte de fazer tais medições de formação de incrustações possa ser utilizado com a presente invenção para a determinação das faixas aceitáveis, materiais de referência e similar, os métodos da presente invenção são praticados usando uma sonda ótica possuindo uma superfície de sonda que pode medir alterações no índice refrativo na superfície da sonda para detectar a formação de incrustações dos fluidos da formação. É preferido usar uma sonda de fibra ótica, e particularmente é preferido usar uma sonda de refletância total atenuada, com um fotômetro para medir diretamente as quantidades da formação de incrustações ocorrentes em um fluido de formação mediante a medição da refração em uma faixa de comprimento de onda de 400 nm a 1500 nm e em seguida transmitir os resultados

para um circuito ou unidade de acumulação de dados e de processamento tal como uma unidade baseada em microprocessador ou um computador para a análise dos dados. Os fotômetros úteis com a presente invenção incluem fotômetros de comprimento de onda único, espectrofotômetros, espectrofotômetros UV-VIS-NIR, e similares. Para os propósitos da presente invenção, o termo ATR significa um dispositivo de refletância total atenuada que inclui uma sonda e um dispositivo para a medição da refração de um material em contato com a sonda.

[027] Um ATR é uma sonda ótica preferida para a prática da presente invenção pelo fato dela ser facilmente disponível e permitir tanto as medições em laboratório e as medições diretas em tempo real da absorvância de fluido ou líquido altamente opaco ou colorido dentro de um processo. Os fluidos da formação, tais como o óleo cru, são normalmente opacos e escuros. As sondas ATR úteis na presente invenção podem ser colocadas em diferentes locais nos caminhos do fluxo do fluido de formação para coletar os dados de formação de incrustações, seja em um furo de poço, em uma tubulação ou em outras linhas de transferência. É necessário que a sonda seja capaz de suportar as condições no fundo do furo de um poço de petróleo. Por exemplo, as sondas ATR que possuem janelas de safira são particularmente preferidas para uso com a presente invenção.

[028] Também sondas óticas preferidas para uso com a presente invenção são as sondas ATR que possuem uma geometria especial para aumentar a sensibilidade quanto às alterações no índice refrativo devido à deposição de

incrustações sobre a superfície da sonda. De forma trapezoidal, a superfície da sonda ATR é colocada no final da sonda que contata o fluido de formação. As superfícies da ponta trapezoidal da sonda ATR que estão expostas ao fluido de formação são o topo e as laterais angulosas. A base da ponta trapezoidal da sonda ATR é fixada ao corpo da sonda. A luz que emerge proveniente da fonte na extremidade oposta do detector é direcionada através da sonda ATR.

[029] As leituras do espectro de absorbância de um fluido típico da formação; tal como um fluxo proveniente do poço; são feitas a um comprimento de onda variando de a partir de 400 nm a 1500 nm, comumente referido como a região espectral visível e infravermelha. Para a presente invenção, uma faixa preferida de comprimento de onda é de a partir de 400 nm a 1500 nm. Mais preferivelmente, a faixa de comprimento de onda é de a partir de 630 nm a 900 nm, e muito preferivelmente de a partir de 650 nm a 670 nm. Uma segunda faixa preferida de comprimento de onda é de a partir de 800 nm a 900 nm, preferivelmente de a partir de 850 nm a 900 nm, e muito preferivelmente de a partir de 870 nm a 890 nm.

[030] Na prática da presente invenção, uma amostra é analisada com um ATR onde luz, uma forma de onda eletromagnética, proveniente de uma fonte é enviada a um sensor com uma superfície exposta colocada em contato com o fluido de formação onde a luz refletida é enviada de volta para o detector. Inseridos na trajetória de retorno para o detector, filtros podem ser colocados para eliminar ou isolar luz desnecessária resultante proveniente da fluorescência, fosforescência, ou refletância do fluido de

formação. Com as conexões apropriadas e os instrumentos e recursos eletrônicos associados, os sinais de uma refração medida resultante de uma alteração no índice refrativo na superfície do sensor pode ser transmitidos convenientemente mediante o uso de fibras óticas até uma unidade de controle para o armazenamento, análise e/ou comparações dos dados espectrais. A intensidade da luz refratada obtida mediante o uso de um ATR é analisada e comparada com a ajuda de programas adequados de computador ou outra unidade de processamento. O comprimento do caminho pode variar, dependendo do comprimento de onda da luz utilizada.

[031] É importante que a sonda ATR seja selecionada tal que ela possa ser usada na aplicação da presente invenção. Por exemplo, em um furo de poço, uma sonda pode estar exposta a condições corrosivas e altas temperaturas e/ou pressões. As partes óticas da sonda deverão ser tais que elas não irão se decompor ou se tornar permanentemente obstruídas. Por exemplo, preferivelmente, as partes óticas de uma sonda útil com a presente invenção serão constituídas de safira.

[032] A refração da formação de incrustações proveniente de um fluido de formação pode ser expressa em diferentes modos. Ela pode ser determinada em um único ponto a um comprimento de onda selecionado, a uma pluralidade de comprimentos de ondas inseridos na faixa aqui revelada, como um espectro completo entre dois comprimentos de ondas ou uma combinação deles.

[033] Para um sistema da presente invenção, é preferido que existam pelo menos duas sondas para a obtenção de pelo

menos dois sinais diretos da medição por ATR. Por exemplo, no caso de um sistema da presente invenção que esteja sendo usado para monitorar um poço de petróleo, pelo menos uma sonda é colocada no fluxo do fluido recuperado no local do poço em um caminho do fluxo de fluido antes de coletar o fluido de formação para processamento ou transporte. Existe tipicamente um processo no local para lidar com os dados. Os dados obtidos a partir das medições diretas por ATR da formação de incrustações provenientes do fluido de formação que adentra as perfurações do furo do poço, que saem da cabeça de poço e em um caminho do fluxo de fluido são coletados, analisados e comparados. Os dados da sonda são preferivelmente processados no local do poço para determinar a extensão da formação de incrustações no fluido de formação, a qual é comparada à quantidade esperada.

[034] A comparação da formação de incrustações relativa pode ser realizada mediante o uso de um processador. A quantidade esperada e a taxa de formação de incrustações podem ser determinadas a partir da análise de amostras dos fluidos que antecedem e/ou modelagem. Se a quantidade de formação de incrustações no fluido de formação recuperada na cabeça de poço é maior que a quantidade esperada, pode ser razoavelmente inferido que a formação de incrustações está ocorrendo ou irá ocorrer em breve. Dependendo da quantidade e da taxa de incrustações minerais precipitadas, pode haver uma necessidade de se alterar ou ajustar tratamentos que a amenizem, a controlem ou a inibam, tais como injeções de aditivos ou, menos preferivelmente, alterando as temperaturas ou outras condições do fluido de formação. Embora qualquer formação de incrustações não seja

desejável, pode existir uma faixa dentro da qual a formação de incrustações pode ser tolerada.

[035] Para um sistema que monitora uma tubulação que transporta um fluido de formação, é preferido que existam também pelo menos duas sondas ATR. É preferido que pelo menos uma primeira sonda seja colocada em uma localização para medir um primeiro nível de formação de incrustações à montante no sistema de tubulação de transporte. É também preferido que exista pelo menos uma segunda sonda à jusante da primeira sonda para medir um segundo nível de formação de incrustações. Está inserido no escopo da presente invenção que uma pluralidade de sondas sejam usadas para monitorar tubulações longas e/ou seu equipamento associado a fim de se determinar (a) se a formação de incrustação está ocorrendo; (b) onde a formação de incrustações está ocorrendo; (c) se um tratamento é necessário ou precisa ser mudado; e (d) qual é o nível apropriado de tratamento.

[036] Como discutido acima, pode existir uma pluralidade de sondas para monitorar a formação de incrustações no mesmo poço ou tubulação. Está também inserido na modalidade da presente invenção possuir uma pluralidade de sondas monitorando diversos poços ou tubulações ao mesmo tempo. Os sinais correspondentes à refratância podem ser enviados para a mesma unidade de processamento de dados ou para uma unidade diferente de processamento de dados, que compara os sinais para determinar se existe uma diferença na formação de incrustações entre aquele do fluido de formação que adentra o furo do poço ou também e aquele em outros locais no poço ou tubulação.

[037] Se não houver diferença ou a diferença for pequena e dentro de uma faixa predeterminada, são enviados comandos para um ou mais controladores que mantêm o tratamento em andamento sem quaisquer alterações. Se a diferença é maior que a faixa predeterminada, são enviados comandos para o controlador ou controladores para ajustar suas saída ou saídas para alteração dos tratamentos em andamento de acordo com a diferença. Exemplos de tratamentos incluem injeções de aditivos inibidores de incrustações, ajustamento das temperaturas e das pressões das tubulações, válvulas e diversos outros equipamentos, e suas combinações.

[038] Existem outras referências que podem ser usadas para se determinar a extensão da formação de incrustações nos fluidos da formação. Uma tal referência é uma figura calculada. Essa Figura pode ser obtida através de métodos tais como um cálculo teórico, mediante extrapolação ou interpolação de uma curva de calibração, e outros. Uma outra e preferida referência é uma análise de laboratório da formação de incrustações no fluido atual a ser monitorado. Se for difícil ou antieconômico posicionar uma sonda no fundo do furo no poço, uma amostragem e a análise intermitente do fluido de formação no furo do poço é uma referência aceitável da presente invenção. Está também inserida na modalidade da presente invenção utilizar uma análise prévia proveniente do mesmo sistema de monitoração ou de um diferente sistema de monitoração como uma referência para se determinar a extensão da formação de incrustações que ocorre no fluido de formação em questão.

[039] Na prática da presente invenção, uma faixa

predeterminada para uma alteração na relativa formação de incrustações de um fluido é usada para deflagrar ou não deflagrar ações para controlar a precipitação de incrustações a partir de um fluido de formação. Essa faixa predeterminada pode ser prescrita em muitos modos diferentes ou ainda uma combinação de modos porque ela depende do efeito do ponto no qual as incrustações irão se precipitar a partir de um fluido de formação que por si só está sujeito a um número de fatores. Os fatores que afetam a precipitação de incrustações incluem a composição do fluido de formação, as concentrações das composições que provocam as incrustações no fluido de formação em particular, as flutuações de tais composições no fluido de formação, o equipamento, o histórico do poço, a precisão do ATR usado, a experiência operacional de um poço ou tubulação ou instalações de armazenamento em particular, e muitos outros fatores. Fatores que podem influenciar a precisão da sonda de ATR incluem, mas não estão limitados a: homogeneidade da matriz do cristal de safira, eficiência do detector quântico, largura de banda da fonte de luz, e modo de divisão do feixe.

[040] Pelo fato de que todas as etapas e medições da presente invenção não necessitem intervenção de operador, exceto para verificar a precisão dos sensores ou das sondas, a presente invenção pode ser automatizada com apropriados dispositivos computacionais, tais como computadores, transmissores de sinais e receptores, programas ou software computacionais para realizar os cálculos necessários e as comparações de dados, e outros dispositivos mecânicos necessários, os quais podem ser

controlados de modo não-manual quando recebendo vários comandos eletromagnéticos, elétricos, eletrônicos ou mecânicos, instruções ou sinais.

[041] Embora os sensores ou sondas sejam usados para prover medições diretas em tempo real da formação de incrustações, não é requerido ou necessário que as medições sejam feitas de modo contínuo. Para a presente invenção, os sensores ou sondas podem ser operados em muitos modos diferentes, contínuos, semicontínuos, intermitente, batelada ou uma combinação destes. A composição do fluido de formação e as alterações na composição, experiência operacional e requisitos de manutenção são alguns dos fatores que influenciam a escolha de quão freqüente as medições são feitas. Além disso, está também inserido no escopo da presente invenção que um sinal diferente pode ser transmitido para uma máquina ou computador ou alguma outra forma de unidade de processamento de dados; isto é, um processador, em um local remoto e, em resposta à diferença observada, uma decisão de ajustamento da resposta de saída de um equipamento quanto a um tratamento em particular é enviada àquele equipamento diretamente ou retorna para o controlador, o qual em seguida envia um comando apropriado para o equipamento.

[042] Um aspecto dos métodos da presente invenção que é importante para a prática deles é o fato de que as superfícies das sondas que estão sendo usadas para medir a taxa da formação de incrustações se tornam obstruídas quando ocorre a formação de incrustações. Quando essa obstrução ocorre, é necessário limpar a superfície da sonda. Embora essa limpeza possa ser feita manualmente, é

preferido que tal limpeza ocorra automaticamente. Se feita automaticamente, sistemas automatizados tais como o sistema Welker@AID-1 pode ser usado e são preferivelmente deflagrados por meio de um controlador que monitora o detector da sonda de ATR. A limpeza também pode ser feita em uma programação. Adicionalmente à limpeza, o dispositivo pode ser também usado para calibrar, extrair e inserir a superfície da sonda.

[043] Caso as sondas sejam limpas manualmente ou automaticamente, a remoção de incrustações pode ser feita com reagentes e solventes apropriados. Por exemplo, se as incrustações sobre a sonda é primariamente carbonato de cálcio, ela pode ser removida usando ácido diluído. Qualquer método conhecido por aqueles com usual experiência na arte de limpeza de incrustações de superfícies pode ser usado com os métodos da presente invenção.

[044] Um aditivo para controlar ou amenizar a formação de incrustações é acrescentado aos fluidos da formação na prática da presente invenção. Qualquer aditivo conhecido por aqueles com usual experiência na arte de tratar fluidos da formação para prevenir a formação de incrustações pode ser usado com a presente invenção. Preferivelmente, os aditivos usados são: ésteres fosfato, fosfonatos, ácido poli-maleico, ácido poli-acrílico, ou outros homo-, co-, e ter-polímeros, onde esses exemplos podem ser formulados em várias proporções dependendo da aplicação.

[045] Uma descrição passo a passo de uma modalidade de acordo com a presente invenção é feita com referência à Figura 1. A Figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema (100) onde a formação de incrustações é monitorada

com duas sondas de ATR (102A&B). A primeira sonda de ATR (102A) está localizada no furo do poço (101) e a segunda sonda de ATR (102B) está localizada em uma tubulação (113).

[046] O sistema (100), em um aspecto, é mostrado a incluir um furo de poço (101) que se estende até uma zona de produção (116). O fluido de formação (117) proveniente da formação produtora (115), flui para o interior do furo do poço (101) e em seguida flui de modo ascendente até a superfície (118). O fluido de formação em seguida passa através da cabeça de poço (109) e em seguida para fora através de um coletor (108) na cabeça de poço até uma junção de tubulação (114), e em seguida para uma tubulação (113) ou outros sistemas adequados de transporte. As sondas de ATR (102A&B) estão conectadas a ligações de comunicação de dados/energia (110A&B), as quais enviam sinais para um controlador no local do poço (103).

[047] Os sinais provenientes das sondas de ATR (102A&B) são enviados para um controlador no local do poço (processador) (103) o qual interage com vários programas e modelos. O controlador no local do poço (103) determina a extensão da formação de incrustações que ocorre no fluido de produção (117) com base nos programas providos a ele. A extensão da formação de incrustações é em seguida comparada a faixas predeterminadas. Com base nessas comparações, os programas e modelos também determinam se (a) elas são diferentes; (b) se a diferença excede uma faixa predeterminada; e (c) de que forma um ajuste de tratamento, se houver, é necessário em resposta à diferença.

[048] Se não existir diferença ou se a diferença não exceder a faixa predeterminada, então o controlador não faz

qualquer ajustamento ou alteração na taxa da bomba (104) que fornece aditivos (119) a partir de uma fonte (105). Se a diferença excede a faixa, o controlador (103) altera a taxa da bomba (104) usando uma linha de controle de aditivo (111) para ajustar a quantidade do aditivo (119) para as quantidades desejadas mediante o aumento ou a redução da quantidade de aditivos (119) proveniente da fonte de aditivo (105) para suprimir, controlar, ou aliviar a excessiva formação de incrustações. Os aditivos (119) são descarregados para o interior do coletor (108) na cabeça de poço por meio de uma linha de alimentação (107) após serem primeiramente fornecidos para a bomba (104) por meio de uma linha de alimentação (106).

[049] Todos os sinais e/ou instruções provenientes dos computadores ou controladores podem ser comunicados através de métodos convencionais tais como cabos apropriados, fibras óticas, etc. De modo alternativo, comunicações sem fio estão também inseridas na modalidade dessa invenção. Todas as medições, comparações e outras operações podem ser automatizadas com a ajuda de dispositivos apropriados. O sistema (100) pode ser um sistema totalmente automatizado. É também possível se ter intervenção manual por meio de um operador no local do poço e/ou no local remoto. Além disso, onde um controlador ou processador remoto ou controlador ou processador secundário (não mostrado) é usado, os programas e modelos que se situam nos mesmos sistemas computacionais ou diferentes sistemas computacionais, podem ser usados como uma operação recíproca de segurança. A comunicação com um controlador ou processador secundário pode ser realizada usando a linha remota de comunicação de dados (112).

[050] É opcional se ter uma pluralidade de fontes de produtos químicos e as respectivas bombas e dispositivos dosadores para administrar diferentes aditivos ou produtos químicos ou solventes. Estes podem ser controlados individualmente ou harmonizado um com o outro por meio de um ou mais controladores tais como (103). Está também contido no escopo da presente invenção, utilizar o mesmo ou diferentes locais de poço (no local) e/ou processadores controladores remoto para gerenciar a operação de dois ou mais poços ao mesmo tempo.

[051] A Figura 2 mostra uma modalidade alternativa e preferida da presente invenção onde o sistema inclui um dispositivo para limpeza da sonda (102A). A sonda (102A) está confinada no interior de um equipamento o qual retira a sonda ao longo da parede de um furo de poço (101) e em seguida limpa a sonda, usando opcionalmente um agente limpante proveniente de uma fonte (não mostrada) e transferido por meio de uma linha de suprimento (202) e em seguida estende a sonda de volta para o interior do furo do poço e para entrar em contato com o fluido de formação. Em uma outra modalidade, é usado um segundo dispositivo para limpar a segunda sonda (102B). Os sinais são enviados a partir da sonda usando a ligação de comunicação de dados/energia (110A), e a limpeza da sonda é ativada usando uma ligação de comunicação de dados/energia (201).

[052] É adicionalmente notado que embora uma parte da revelação apresentada esteja direcionada para algumas modalidades preferidas da invenção ou das modalidades descritas nos desenhos anexos, várias modificações serão evidentes e percebidas por aqueles com experiência na arte.

É pretendido que todas as tais variações inseridas no escopo e espírito das reivindicações sejam abrangidas pela revelação apresentada.

### **Exemplos**

[053] Os exemplos a seguir são oferecidos para ilustrar a presente invenção. Os exemplos não são pretendidos a limitar o escopo da presente invenção e desse modo eles não devem ser interpretados como limitantes da mesma. As quantidades estão em partes em peso ou em porcentagens em peso a menos que de outro modo indicado.

#### **Exemplo 1**

[054] Uma composição de salmoura é dividida na forma de uma salmoura aniônica (AW) e salmoura catiônica (CW) onde cada salmoura contém apenas os respectivos ions de formação de incrustações e cloreto de sódio. O pH da parte AW da salmoura é ajustado usando ácido acético glacial para atingir o ponto desejado. A CW aquosa é misturada e usada sem modificação adicional. Todos os dados experimentais são gerados nas condições normais de temperatura e pressão. O comprimento de onda usado para esse experimento é de 660 nm. Os dados são coletados tanto para a sonda e o equipamento de realização dos testes dinâmicos de formação de incrustações e são armazenados e analisados a uma taxa de amostragem de 1 amostra/segundo.

[055] A Figura 3 representa medições de laboratório utilizando um espectrofotômetro UV/Vis e uma sonda de ATR de fibra ótica com água deionizada como uma referência. A taxa de formação de incrustações é determinada para duas únicas soluções de salmoura contendo 16,2 mmol/L de sulfato de bário e 10,7 mmol/L de carbonato de cálcio,

respectivamente. Essas diferenças de resposta da sonda mostradas na Figura 3 revelam a sensibilidade da sonda para os diferentes tipos de incrustações.

[056] O equipamento experimental sensor de incrustações consiste de um béquer aberto de 2L, o qual é colocado por sobre uma manta de aquecimento com agitação magnética. O sensor de incrustações é colocado aproximadamente a um cm a partir do fundo e lateral do béquer. A CW é derramada diretamente para o interior do béquer e em seguida é iniciada a coleta de dados. Uma vez comece a aquisição de dados, a AW é em seguida adicionada ao béquer.

[057] Os dados são apresentados na Figura 3.

### **Exemplo 2**

[058] A Figura 4 demonstra a correlação entre a taxa de resposta do detector e a diferença na efetividade do inibidor de incrustações para uma dada salmoura de formação de incrustações de carbonato de cálcio. Esses experimentos correlacionam o aumento de pressão em um circuito fechado de fluxo com as respostas da sonda sendo realizada mediante o acoplamento de um equipamento de realização de testes dinâmicos de formação de incrustações com a sonda.

[059] Bombas peristálticas operando a uma combinada taxa de fluxo de 600 ml/h, cada uma bombeando AW e CW através de tubulação de aço inoxidável que está submersa em um banho de água. No banho de água, ambas as linhas de fluido (AW e CW) são combinadas e fluídas através de uma tubulação de aço inoxidável de diâmetro externo (OD) de 16 mm de diâmetro interno (ID) de 1,6 mm e comprimento de 1 m. Um transdutor de pressão está localizado à montante do ponto de mistura da AW e CW para medir o aumento da pressão

absoluta resultante da precipitação de incrustações que obstruem a linha de fluxo. A sonda é colocada na saída da tubulação onde a AW e CW combinadas são fluídas sobre a ponta da sonda. Os inibidores de incrustações mostrados na Figura 4 são comercialmente disponíveis da Baker Petrolite.

[060] Os dados tanto para a pressão e a resposta da sonda são apresentados na Figura 4.

### **Exemplo 3**

[061] O Exemplo 3 é realizado de modo substancialmente idêntico ao Exemplo 3, exceto que um único inibidor de incrustações é usado em diferentes concentrações.

[062] Os dados tanto para a pressão e a resposta da sonda são apresentados na Figura 5.

### **Exemplo 4**

[063] O Exemplo 4 é realizado de modo substancialmente idêntico ao Exemplo 1, exceto que após a adição da AW ao béquer de 2 L, o óleo cru é adicionado à solução. O cru é uma amostra proveniente de um poço no Golfo do México e usada sem modificação.

[064] Os dados são apresentados na Figura 6.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para a determinação em tempo real da taxa de deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

A) colocar uma sonda ótica (102A, 102B), tendo uma superfície da sonda que pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda, em contato com um fluido de formação (117) produzido ou que está sendo produzido a partir de um poço de petróleo (101);

B) medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda; e

C) determinar o começo e a taxa, se houver, da deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação (117) como uma função das alterações no índice refrativo na superfície da sonda;

em que:

i) a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo está em contato com o fluido de formação (117);

ii) a sonda (102A, 102B), incluindo a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo, é composta de um material que pode suportar um período prolongado de contato com o fluido de formação nas temperaturas e nas pressões presentes nos poços de petróleo;

iii) a determinação do começo da deposição de incrustações minerais e da taxa da deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação (117) ocorre em tempo real; e

iv) a sonda ótica (102A, 102B) é uma sonda de ATR.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a sonda de ATR inclui um dispositivo de medição da alteração do índice refrativo associada com um material em contato com a sonda que é um fotômetro.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 400 a 1500 nanômetros.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 500 a 700 nanômetros.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 630 a 690 nanômetros.

6. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 800 a 900 nanômetros.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 850 a 900 nanômetros.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 870 a 890 nanômetros.

9. Método para controlar a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

A) colocar uma sonda ótica (102A, 102B) tendo uma superfície da sonda, que pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda, em contato com um fluido

de formação (117) produzido ou que está sendo produzido a partir de um poço de petróleo (101);

B) medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda;

C) determinar o começo e a taxa, se houver, da deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação (117) como uma função das alterações no índice refrativo na superfície da sonda;

D) comparar a taxa, se houver, da deposição de incrustações minerais com uma faixa predeterminada de deposição aceitável de incrustações minerais; e

E) efetuar uma alteração na taxa de adição, se houver, ao fluido de formação de um aditivo efetivo para prevenir a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação;

em que:

i) a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo está em contato com o fluido de formação (117);

ii) a sonda (102A, 102B), incluindo a superfície da sonda que pode ser monitorada quanto às alterações no índice refrativo, é composta de um material que pode suportar um período prolongado de contato com o fluido de formação nas temperaturas e nas pressões presentes nos poços de petróleo;

iii) a determinação da taxa de deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação (117) ocorre em tempo real;

iv) a sonda ótica (102A, 102B) é uma sonda de ATR;

v) a taxa de adição, se houver, ao fluido de

formação do aditivo efetivo para prevenir a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação é:

(1) aumentada quando o começo da deposição de incrustações minerais é detectado ou a taxa de deposição de incrustações minerais é maior que a faixa de deposição aceitável de incrustações minerais;

(2) diminuída quando nenhuma deposição de incrustações minerais é detectada ou a taxa de deposição de incrustações minerais é menor que a faixa de deposição aceitável de incrustações minerais; e

(3) inalterada quando nenhuma deposição de incrustações minerais é detectada ou a taxa de deposição de incrustações minerais está dentro da faixa de deposição aceitável de incrustações minerais.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que a sonda de ATR inclui um dispositivo de medição da refração de um material em contato com a sonda, o qual é um fotômetro.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 400 a 1500 nanômetros.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 500 a 700 nanômetros.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 630 a 690 nanômetros.

14. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma

faixa de comprimento de onda de 800 a 900 nanômetros.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 850 a 900 nanômetros.

16. Método, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato de que o fotômetro mede luz em uma faixa de comprimento de onda de 870 a 890 nanômetros.

17. Sistema para controlar a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação (117), **caracterizado** por compreender um caminho do fluxo do fluido para fluir o fluido de formação recuperado a partir de uma formação de sub-superfície (115); uma sonda ótica (102A, 102B) tendo uma superfície da sonda que pode medir as alterações no índice refrativo na superfície da sonda, associadas com o fluido de formação (117) no caminho do fluxo do fluido que proporciona dados correspondentes à taxa de deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação (117) no caminho do fluxo do fluido; e um processador (103) para determinar a partir dos dados a taxa de deposição de incrustações minerais provenientes do fluido de formação (117), em que a dita sonda ótica (102A, 102B) é uma sonda de ATR.

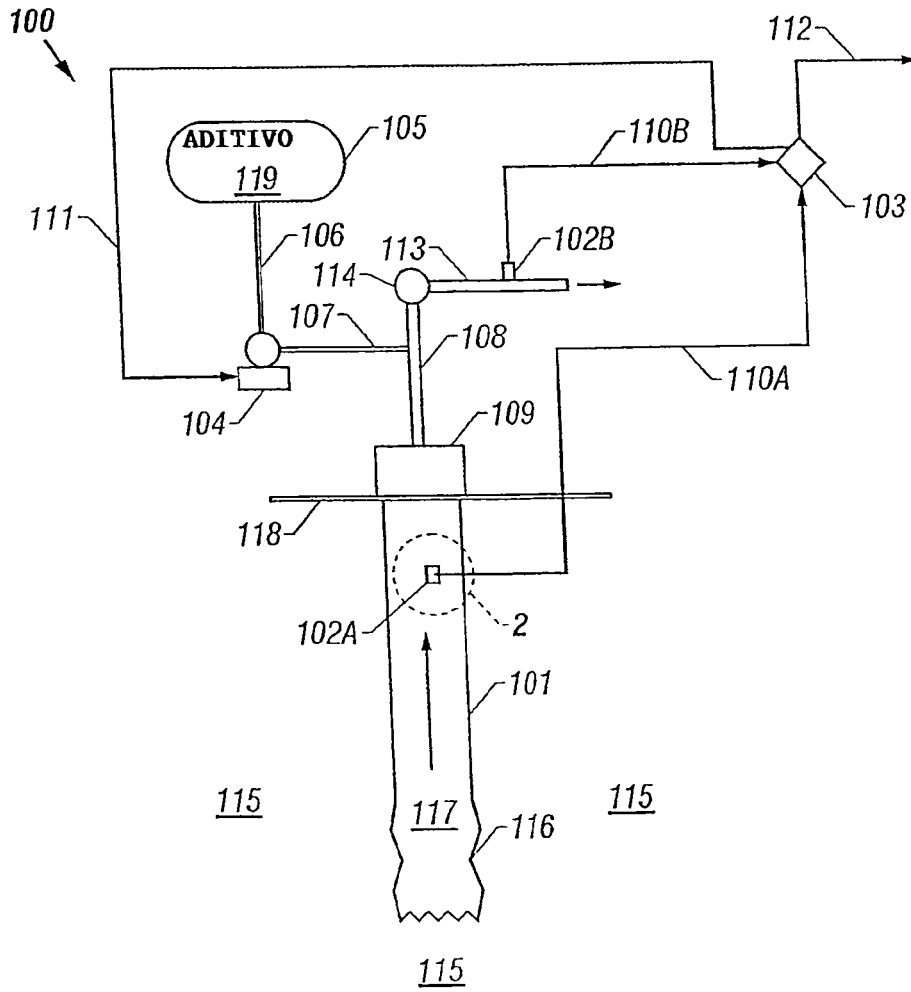


FIG. 1

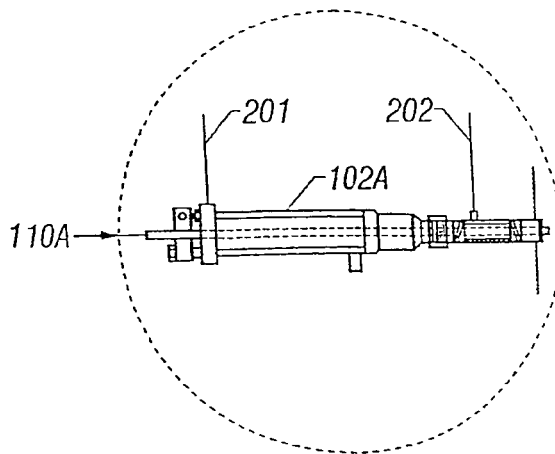


FIG. 2

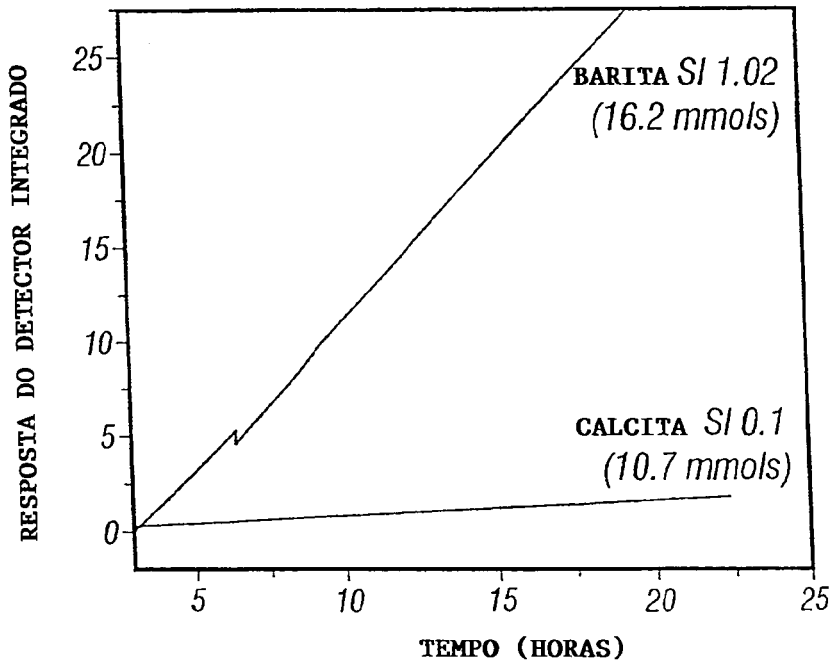


FIG. 3

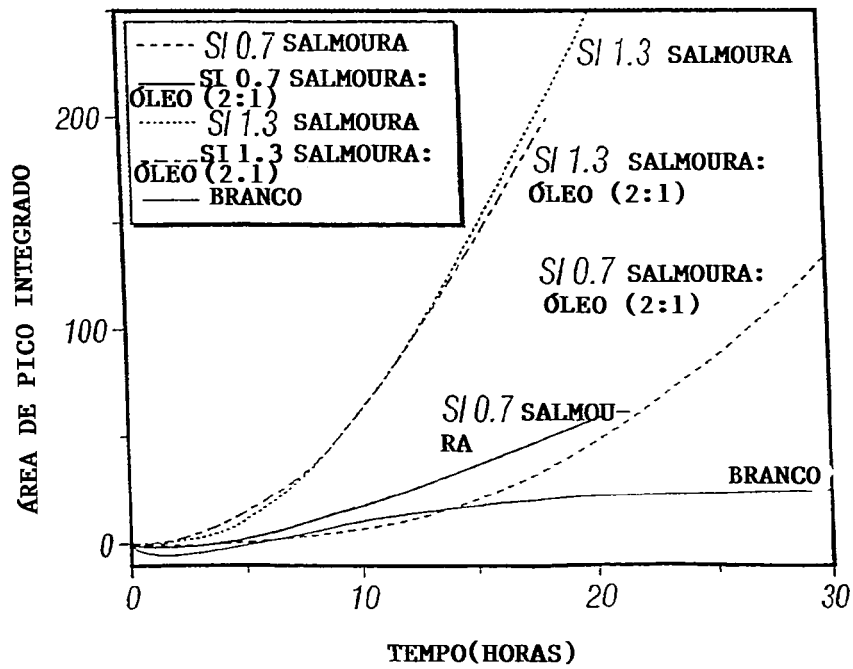


FIG. 6

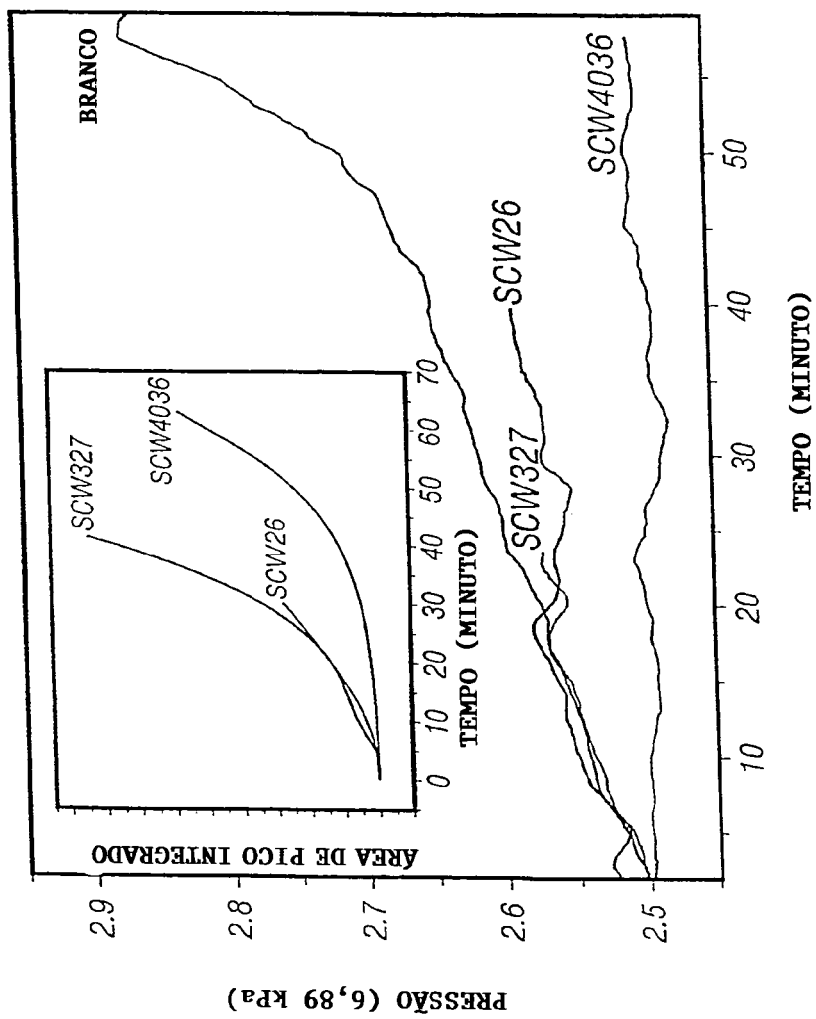


FIG. 4

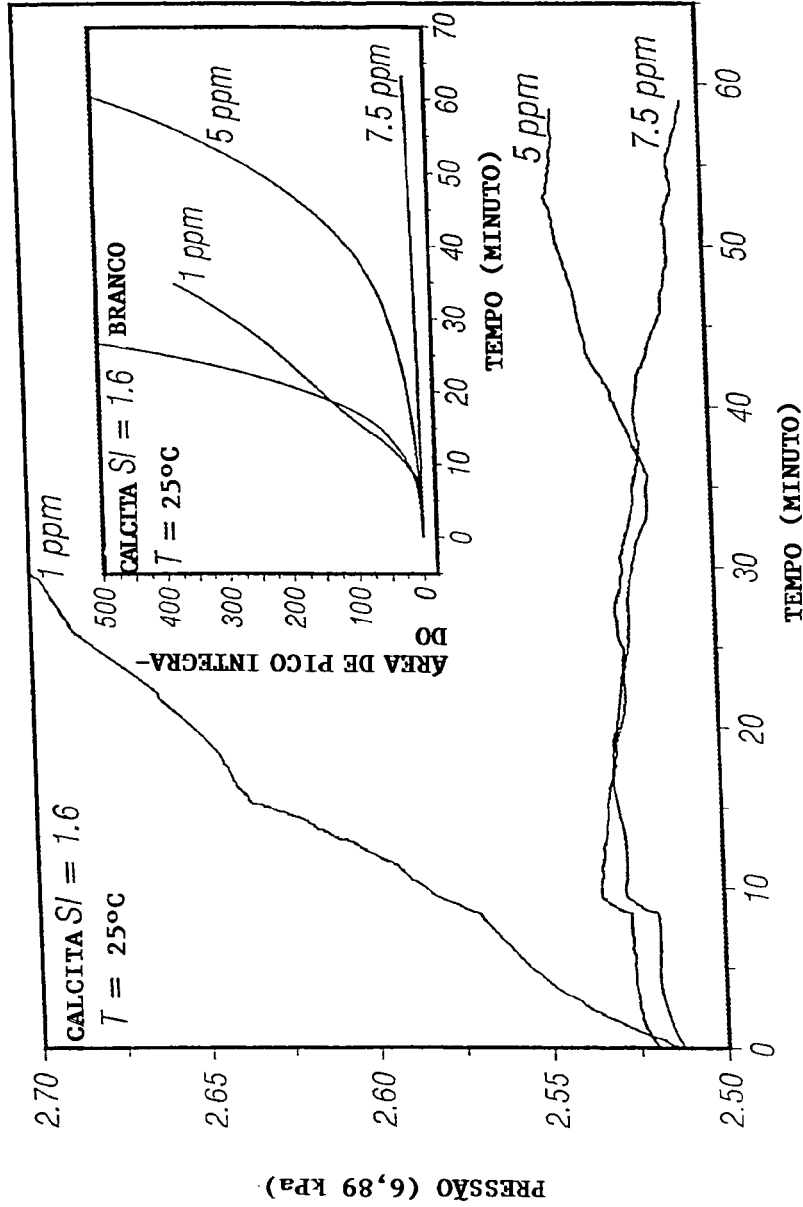


FIG. 5

**MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO EM TEMPO REAL DA TAXA DE  
DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES MINERAIS PROVENIENTES DE UM  
FLUIDO DE FORMAÇÃO E MÉTODO E SISTEMA PARA CONTROLAR A  
DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES MINERAIS PROVENIENTES DE UM  
FLUIDO DE FORMAÇÃO**

A presente invenção proporciona um método e sistema para controlar a deposição de incrustações minerais provenientes de um fluido de formação. A taxa na qual a formação de incrustações está ocorrendo é medida em tempo real usando uma sonda de refletância total atenuada e um fotômetro. Os resultados são em seguida utilizados para determinar se é o caso de aumentar, reduzir ou deixar inalterada a adição de aditivos que agem contra a deposição de incrustações minerais.